

П. Лакуръ и Я. Аппель

Историческая Физика.



Р-2786



Переводъ съ нѣмецкаго подъ редакцией
„Вѣстника Опытной физики и Элементарной Математики“.

1937.



Одесса, 1908 г.

ИРКУТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ПРАКТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ.
ТЕХНИЧЕСКАЯ БИБЛИОТЕКА.
Информ. №

БИБЛИОТЕКА СИБИРСКОГО
ГОРНОГО ИНСТИТУТА

2080362

53



Историческая Физика.

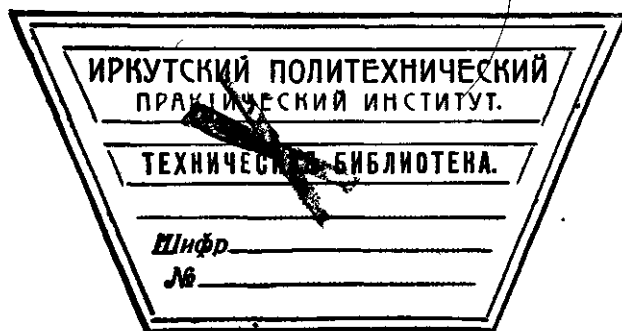


ТОМЪ I

Мірозданіе, до 1630—Свѣтъ до Ньютона—

Сила—Мірозданіе, послѣ 1630 г.—Природа

свѣта—Спектральный анализъ =====



Съ 419 рисунками и портретами въ
текстѣ, звѣздной картой и таблицей
спектровъ Бунзена и Кирхгоффа.

Предисловие авторов

Для того чтобы изложить какую-нибудь науку в возможно сжатой форме, обыкновенно обращаются к систематическому изложению ее, т. е. сперва приводящие общие законы, а затем дают несколько примеров, поясняющих и подтверждающих эти общие законы. Но к познанию этих законов мы обыкновенно приходим прямо противоположным путем: мы сначала знакомимся с отдельными явлениями, а затем уже открываем их внутреннюю связь.

Первый способ обыкновенно ведет к цели скорее, но тот путь, который прилегает возможно близко к пути исторического опыта, несомненно имеет на своей стороне преимущество гораздо большей основательности.

Что касается преподавания естествознания, то преподаватель, умеющий правильно ценить метод исторического опыта, никогда не забудет сначала напомнить ученикам знакомые явления или познакомить их с менее известными, а потом уже укажет самый закон. Это несомненно дает иногда возможность известным образом возбудить слушателя и сделать его восприимчивым к объяснению, которого при таких условиях он будет внимательно ждать, но которое, пожалуй, вовсе не заинтересовало бы его без такой предварительной подготовки. Однако, чтобы заставить слушателя понять ценность и значение данного закона и надлежащим образом возбудить его внимание, двух—трех фактов часто будет недостаточно.

Но пусть изучающий пойдет той дорогой, которая привела к открытию закона на самом деле, пусть он, так сказать, сам найдет этот закон—и тогда найденное станет такой его духовной собственностью, какой никогда не может стать закон, предлагаемый ему в готовом виде.

Против такого метода есть только одно возражение. Именно, он требует больше времени, чем способ систематический. Но в области общего образования, где этот упрек делается чаще всего, он не имеет никакого основания.

Кто хорошо знаком с началами естествознания или математики, тот, пожалуй, действительно расширит свои познания быстрее всего систематическим путем. Но почему большинство людей, обладающих некоторыми общими сведениями по физике, так плохо понимают явления природы, когда встречаются с ними в жизни? Просто потому, что они познакомились с законами природы, о которых они, пожалуй, даже много слышали и читали, не тем способом, который отвечает исторической действительности.

Поэтому для большинства время, конечно, не пропадет даром, если работа будет идти без излишней спешки. Для дальнейшего изучения природы лучше ос-

ПРЕДИСЛОВИЕ.

новательно познакомиться с немногими ее явлениями, чем механически заучить длинный перечень положений, не переработав их основательно.

Учитель должен думать прежде всего о том, чтобы идти в преподавании вперед с необходимым спокойствием, не портя наслаждения предметом у учеников и не рискуя успехом преподавания. Употребляя выигранное время на повторение, вреда не поправишь, так как повторение состоит чаще всего в усвоении учебного материала одною памятью.

Нельзя, конечно, сомневаться в том, что не один добросовестный учитель отнимает у себя время, выискивая побольше таких примеров, чтобы вызвать в своих слушателях надлежащую восприимчивость и возбудить их желательным образом. Как ни отрадны Иакия явления, но все же это лишь отдельные личные стремления. Если такой учитель составит даже собственный учебник сь огромной массой примеров, его метод не станет общим, так как он не сможет достигнуть того, чтобы его личный метод был безусловно принят всеми учителями.

Есть только один метод, авторитет которого должен быть признан всеми без исключения, Это тои именно метод, который выработали не отдельные авторы, а все чсловечесиво—метод исторический. И если автору или учителю при помощи этого метода не удастся иной разь сделать завоевания человечества вполне доступными своим чииателям и ученикам, то, несомненно, вина будет лежать только на нем самом и этот недостаток вполне устраним. Что человечесгво делало свои великие шаги вперед не каким-нибудь неестественны ,И путем, а также, что наше поколение не может выполнить своей роли наследника прошлого лучше, как приняв наследство от отцов исторически, все это так же достоверно, как и го, что мы обязаны знать великия имена, о когорых говорит история физики.— Настоящая книга, строго говоря, не история физики; это только попытка ввести в физику начинающего тем пугем, который предуказан историческим развитием науки, и авторы льстят себя надеждой, чго им удалось придти к этой цели верной дорогой.

Общий исиорический фон настоящего изложения физики предполагается вообще известным. Преподавание общей истории, благодаря такому историческому введению в физику, получает важное дополнение, до сих порь еще не цьнимое достаточно, несмотря на то, что отношение человека к силам природы играло важную роль в исиории и вь культурной жизни. Но прежде всего преподавание самой физики получает при этом естественную педагогическую основу. Таким образом, эту книгу в сущности можно считать также учебником физики и пользоваться ею, как учебником.

Если она по форме, пожалуй, и отличается от систематических учебников физики, то все же в ней, может быть, окажется та систематичность, которая обязательна во всяком преподавании.

Содержание

§§ 1—74. Мироздание; до 1630 г.	стр.
Древнейшие культурные народы, ...	3
Греки.	18
Арабы.	44
Зарождение астрономии в Западной Европе.	46
§§ 75 — 111. Светь	
От древнейших времен до Ньютона	71
§§ 112 — 270. Сила	
Равновесие твердых тел	109
Движение	144
Часы	151
Другия криволинейныя движения	159
Параллелограмм силъ.	167
Удар	170
Энергия	174
Жидкости.	175
Удельный вес	189
Приборы, основанные на свойствах воды ц, воздуха	194
Воздушный океанъ.	214
§§ 271—333. Мироздание; после 1630 г.	
Земной шар	249
Скорость света	256
Исаак Ньютонъ.	268
Неподвижныя звезды	304
§§ 334 — 377, Звукъ	
Звук	321
§§ 378—420. Природа света	
Цвета.	367
§§ 421—442. Спектральный анализъ	
Спектральный анализъ.	409
Алфавитный указатель	431

Систематический обзор содержания I тома

Мироздание

Вспомогательные средства: математика 4, И8, 19, 48, ИИ6-ИИ8, И94-. 2^7И 2^7И 2^7S ; об-серватории 4И 57—\$8, 62, 259, 260; инструменты 4И $1^{\wedge}$ И^2 И 2^4 , 28, 29, 3Б $\text{S}^1\text{И}$ 57И 60, 99И $2^5\text{о}^{\wedge}$ 2^5Б 2^7Т 3^{12}J глобус у_5 2^4 ; звездные карты 5 • измерение отдаленности недоступных предметов 18,25—27, 39И 2^88 —292, 314 — $3^{1\wedge}$; метр ИИ грамм 113—ИИ4, $2^{\text{SST}^2\text{S}^{\wedge}}$; черчение карт 36—39-

Астрология: предсказания 3, SSi 66.

Земной шаръ: воззрения древних 20, 2И; тарообразность 20—22, 50 — 54 широта и долгота 34—36; размеры земли 23, 39? 45И 2^49 — 2^54 ; триангуляция 249; Форма земли (градусные измерения) 249—255; движения земли 23—25, 4Q, 48, 276, 278-, прецессия 32—34И $3^{\text{оо}}$ — $3^{\text{оИ}}$ > центробежная сила на экваторе 253; вес земли 284 — 287, $3^{\text{оо}}$; тяжесть 299; расстояние земли от солнца 26—27, 39: 289— 2^9о^5 приливы и отливы 301 — 303; преломление лучей в атмосфере 41—42-

Солнце: видимый путь 6, солнцестояния и равноденствия 7—8, ИИ; эклиптика 7—8; ТОЧКА Овна 8, 32 — 34; наклон эклиптики 13; место солнца на эклиптике 30, 48; время обращения ИИ, 3^2 , 3^3 ? солнечные часы ji; расстояние солнца от земли 26 — 27, 39И 289—290; величина солнца 27, 291; масса солнца 283, 291; солнечные затмения И8, 20; солнечные пятна 140, 290, 4^2S ! солнечные Факелы 4^2S ; протуберанцы 425 и сл ; строение солнца 424 и сл.

Луна: видимый путь 6, время обращения 8, Фазы луны 8, орбита 8, 272, 283; лунные затмения И7, 2И, 40; поверхность 139, 2^9 , 293; масса 283; приливы ИИ отливы 301—303.

Планеты: видимое движение 9, 48, $5^3 \sim 5^4$; действительное движение 65; расстояние от солнца 65, 288 — 291; время вращения 290, $3^{\text{оз}}$; прохождения Венеры 289; массы 283—284, 291; возмущения 287—288; Фазы Венеры 140; время обращения 291; Марсь И40, 291, 293— 2^955 спутники Юпитера 138, 258—259; Сатурн 140, iss~ 1^{S^6}И 2^9Т ~ 292, 306; Уран 287, 291, 306; Нептун 287—288; спектры планет $43^{\text{о}}$ -

Кометы: 9, 2^97 ~ 2^99Т $43^{\text{о}}$ -

Неподвижные звезды: звездное небо $\text{с}^>$ $3^{\text{о}7}$; круг незаходящих звезд 5; зенит и надир И2; полюсы мира 5, 6; ориентировка 9, ю; звездная карта 5; созвездия 6; каталоги звезд 28, 42; вращение небесного свода S_1 6, 2И—22; дневные и ночные дуги 6; определение места звезды И2; при помощи меридианного круга 28 — 30, 59—60; преломление лучей в атмосфере 41—42; параллакс 25, 62, 260, 308, $3^{\wedge}4$ —316; aberrация 260 — 263; величина 308, 3^{17} ; двойные звезды 309— $3^{\text{Т}^{\text{о}}}$; звездные скопления и туманности 311; Млечный Путь 139, 3^{10} — 3^{11} ? новые звезды 56; цвета звезд 3^{11} невидимые звезды 317; спектры неподвижных звезд 4^29 -

Время: подразделение времеп || солнечные и звездные сутки 30—31; солнечные часы 31; уравнение времени 31; универсальное время 36; длина года и, 31 — 3^2 ; календарь 14— $17^{\wedge}$ 48, 7S ? 2^59J месяцы 15—18; неделя 16—17-

Системы и законы: древния системы 19—2И; Аристарх 23—28; теория эпицикловъ 42—44; система Птолемея 42—44; система Коперника 52—54И И4И; система Тихо 63; законы Кеплера 65; закон притяжения Ньютона 272—288.

С в е т ъ

Прямолинейность распространения: закон 71; направление лучей 73 — 74, 3⁸95 п^е-спектива 72: тень 73> камера-обскура 74—75И 94 — 95» закон убывания яркости с разстоянием 77; Фотометрия j8 — 79-

Отражение: закон 80—8И, 386, 39°; кратчайший путь 80—8И; оптические обманы 8И—83 калейдоскоп 83; вогнутое зеркало 83—87; выпуклое зеркало 8у—88; полное внутреннее отражение Иоо.

Преломление: закон 41, 88—go, 99—И^оИ 386, 39°> стеклянные пластинки 90; призма 90; собирательная линза 91 — 93; рассеивающая линза 93—94; камера-обскура с линзой 94; Laterna magica 95; зрительная труба 96 — 98; увеличительное стекло 93, 98; микроскоп 98—995 очки Ио2.

Двойное преломление: 383 — 385И 397И 4о?; Николева призма 404-

Глазъ: глаз есть камера-обскура 102; свойства глаза Ю2—104, 373> стереоскоп 105: глазное зеркало 344—345 > дветовое ощущение 381—382; длительность его 382.

Цвета: призматические цвета 367; спектр Ньютона 368, 409; в белом свете содержатся все цвета 368—37²; ахроматическая линза 373—374; радуга 374—378; цвета предметов 379—380, 39²> Флуоресценция 380 — 381; основные, дополнительные и контрастные цвета 381--382; Ньютоновы кольца 387, 393—395! интерференционные цвета 383, 39^-

Теории света: теория Демокрита 385; Ньютонова теория истечения 385 — 388, 39¹J опыт Гримальди 382—383; волнообразная теория Гука 383; волнообразная теория Гюйгенса 389—39°; интерФеренция 396, 4ОИ—402, 4ИЗ"~4И5; длины волн 3955 э ир 389, 402—403; свет и магнетизм 405-

Поляризация: поляризованный свет 397> угол поляризации 400: колебания в поляризованном луче 403; вращение плоскости поляризации 404-

Спектральный анализъ: чпстый спектр 409; Фраунгоферовы линии 410, 4и, 4¹8, 424, 428; спектроскоп 420—423; диФФракционный спектроскоп 423; спектральные линш 4И6, 418—4235 426—429; причина ФраунгоФеровых линий 418 — 420, 424; спектры металлов 422; спектр водорода423; различные типы спектров 423; спектры звезд 429; спектры планет и комет 43°-

С и л а

Равновесие твердых тель: рычаг 109, ИИ8—119; статический момент 126; центр тяжести 119—125; безмен и^з—113; устойчивое, неустойчивое и безразличное равновесие 123 — 124; начало возможных перемещений или скоростей 129—132; веса Роберваля 130; блок и полиспаст ИИ4—129; друпа простая машины 114, 130—134; равновесие на наклонной плоскостп 133 — 44-

Движение: закон инерции 144; сложение движенш н сил 145, 160—162, 167—170; свободное падение 135"47^ US¹47; бросание вертикально вверх И47—М8; падение понаклоннойплоскостИИ 148—149, ¹&7—¹68; маятник 134, И49—¹S⁰: ¹S^—158; водяные и песочные часы 151 — 153; старые часы с гирями 153 — 154; часы с маятником 156—157; циклоидальный маятник 158; часы с балансиrom 158; движение брошенного тела И6И — 163; центробежная сила 164—166; удар 170—173; энергия И74—175> машины и двигатели *08; водяные и ветряные мельницы 205—214«

Равновесие жидкостей: давление в жидкостях И8И, 183— И8у; гидравлический пресс И88; потеря веса в воде И8о, 189—190, давление вверх на тело в жидкости И8И; плавание тел Иу9И И8И—И8г; сообщающиеся сосуды И8з; удельный вес И8о, 189—И9з; ареометр 190—192; водочерпалки Иу8; клапан и кран 201—202, водяные и ветряные мельницы 205—214; истечение жидкостей 219-

Воздухъ: пустота И95-И9?5 214 — 218, 221, 224 — 228, 232 — 233; воздух Идб; вес воздуха 228, 238 — 239; расширение воздуха 232, 235 — 236; сжимаемость воздуха 215, 234, закон Бойля 234—237; барометр 2И8, давление воздуха 2И8, 223; 228, 234; воздушный океан 2И8, 222; измерение высот при помощи барометра 237—238; сифон 197—198, 200, 222. пипетка И99; Геронов шар 202, сосуд Марютта 239; пожарный насос 204—205; нагнетательный насос 204—205, 239; всасывающий насос 205; воздушный или пневматический насос 225—233; насос для сжатия воздуха 234 —243) воздух в жидкостях 230—231, двигатели с сжатым воздухом 240 — 241; водолазный колокол 241 -243; воздухоплавание 243 — 246; парусное судно 2И з; ветряная мельница 207 — 208, 213—214.

З в у к ъ

Звукъ: звуки производятся колебаниями 323; высота тона 323; колебания струн 323. 34о~342; биения z^2 ? абсолютное число колебаний 325; тоны Тартини 325; распространение волн в воде 326; распространение звука 325 — z^2 ?; распространение волн в воздухе $3z^1$! скорость звука в воздухе $3z^1$ — $333\ 5^b$ других телах $3z^1$ — 335 » Форма воздушных волн 335 — 33^A - влияние ветра 336; отражение и преломление звуковых волн 336 — 33^A ? сложение звуковых волн 3395 интерференция звуковых волн 339 ~ 340 ; симпатические тоны 340; основной тон и обертоны 342; Фигуры на звучащих пластинках 342 — 344; резонаторы 345 ~ 347 > звучащая труба 32И, 323, 346 — 347_1 354 — $35Si$ созвучия 348 — 35^o ? интервалы 348 — 35^{25} cm рена 3535 голос 3)>~ 356 - гласные 356 — 358 ; согласные 358; Фонограф 359— 3^o ; ухо 360—363-



Мироздание

Открытия до 1830 г.

Лакур и Аннелг Историческая Физико,

Древнейшие культурные народы

1. На обширных равнинах Востока, где климат мягок и где почва оплодотворяется большими реками и их разливами, человечество рано достигло той ступени умственного развития и таких условий общественной жизни, которая позволили ему отдаться высшим интересам, позволили удовлетворять врожденному стремлению человека заниматься вопросами, на первый взгляд далекими от его материальных нужд. И часто оказывалось, что это стремление вернее вело к удовлетворению его нужд, чем деятельность, непосредственно направленная к этой цели.

Египтяне на Ниле, халдеи на Евфрате и Тигре, индусы на Инде, Ганге и Брахмапутре и китайцы на Гоанго и Янцеканге жили в таких благоприятных условиях, что деятельность их могла не ограничиваться исключительно пропитанием и войной и обращалась на многие другие задачи. У всех этих народов мы находим класс людей, который обыкновенно называют жреческим сословием и силы которого посвящались особым занятиям. Сюда, само собою разумеется, относились прежде всего религиозные обязанности, но кроме того и многие другие виды деятельности, которыми теперь занимаются врачи, судьи, писатели, архитекторы и др. В те времена люди были очень консервативны и их деятельность регулировалась обыкновенно раз навсегда установленными правилами, выполнение которых делалось священным долгом, хотя бы дело шло даже о совершенно внешних вещах, например, о форме зданий и др. А потому и прогресс мог идти лишь медленно; но то, что было раз приобретено, тем лучше закреплялось долгим повторением и испытанием.

Нужно думать, что жреческое сословие занималось также и исканием более глубокой связи между явлениями природы, чем та, которая обнаруживается непосредственно. Народы древности, во всяком случае, смутно чувствовали такую связь, хотя и составляли себе о ней совершенно неверное представление. Так, они думали, что явления природы предназначены давать указания относительно будущего. Они строили свои предсказания на наблюдении внутренностей жертвенных животных, на полете птиц, на движении облаков, на изменении песочных фигур при ударе по диску, на котором они были нарисованы и т. д. Остатки подобных суеверий сохранились и до нашего времени. Так, по цвету грудной кости гуся, светлому или темному, заключают о том, будет ли зимою много снега или мало.

Немногом иначе обстояло дело и с объяснением движений и вида небесных светил. Предсказание по звездам, составление гороскопа, т. е. определение судьбы какого-либо лица на основании расположения светил в момент его рождения, составляло одну из важных частей науки о звездах не только в древности, но

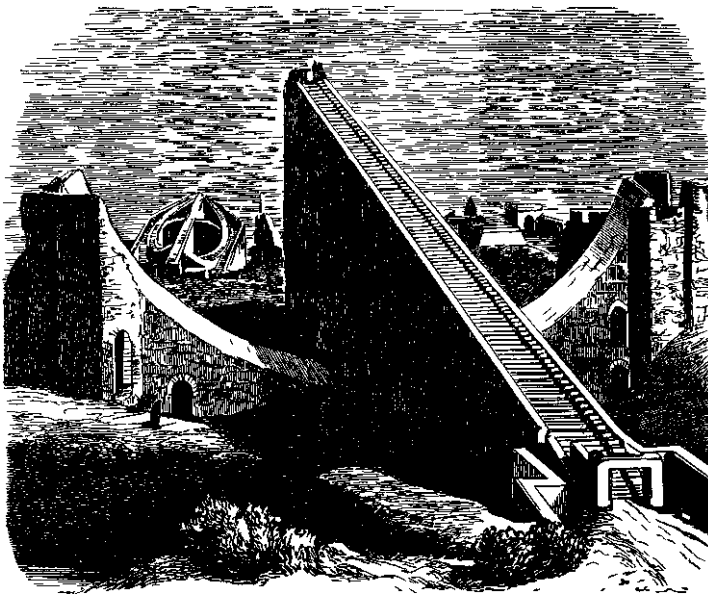
даже и до новых временъ; оно существует в некоторых странахъ, напримеръ, въ Китае, еще и теперь.

Хотя такая предсказания имели столь же мало цены, как и те, о которых мы упоминали выше, но эти стремления представляют в извѣстной мере исходную точку или подготовку настоящаго изслѣдованія природы. Именно, движеніе свѣтил наблюдалось Срелигюзной добросовѣстностью.

У названных народов условия для этих наблюдений были особенно благоприятны. В их странах звездное небо сияет с такой красотой и с таким блескомъ, какою мы не знаемъ въ нашемъ воздухѣ, всегда болѣе или менѣе туманномъ, при нашихъ свѣтлыхъ летнихъ ночахъ. В техъ странахъ ночное небо всегда достаточно темно, а ночной воздухъ всегда мягок и позволяетъ долго оставаться под открытымъ небомъ; и горизонтъ в большихъ равнинахъ обыкновенно очень чистъ.

К этому нужно прибавить, что при установившихся уже условиях общественной жизни возникает потребность в правильномъ подразделеніи времени, а

Рис 1



Индійская обсерваторія в Дели.

протекающія правимьной чередой небесныя явленія, какъ скоро было замечено, оказываются для этого болѣе пригодными.

В силу всего этого люди старались с величайшей точностью наблюдать, измерять и определять положенія и движеніе свѣтилъ. Они делали инструменты, часто в видѣ огромныхъ построекъ с определенными визирными линиями, они изобрѣтали методы наблюденія и положили начало математикѣ, которую суждено было позднее усовершенствоватьъ грекамъ и которая, вместе с измерительными приборами, составляетъ необходимую основу всякаго изслѣдованія природы, достигающаго известной степени совершенства.

Таким образом звездное небо стало учителем человечества. Если мы теперь странствуем по далеким морям и по сети железных дорог при помощи пара, если мы умеем телеграфировать и т. п., то в основе всего этого лежит развитие культуры, которое можно проследить вплоть до начатков древней астрономии. Если древние в своих наблюдениях добивались совершенно иных целей, то это доказывает только, что стремление углубляться в те вопросы, непосредственную пользу которых нелегко видеть, заслуживает глубокого почтения. Нельзя смотреть пренебрежительно на работы древних и прежде всего на их наблюдения звездного неба, которые стали не только основой нашего господства над силами природы, но которые и сами по себе имеют что-то притягательное для нас, как и для древних, несмотря на то, что мы знаем уже, что сама земля есть только незначительная часть вселенной.

2. Мы обратим наше внимание прежде всего на звездное небо, которое, в существенных чертах, имеет у нас тот же вид, какой оно имеет в других странах, какой оно имело в древности. Куда бы мы ни направлялись, всюду и всегда мы находим эту неизменную картину звездного неба. С помощью звездной карты, приложенной к этой книге, легко познакомиться с важнейшими звездами.

При некотором внимании можно скоро заметить, что звезды всегда сохраняют одно и то же положение друг относительно друга, что в этом смысле они неподвижны (fixae). Каждому, конечно, известны те семь звезд, которые составляют Большую Медведицу или Небесный Возь, состоящий из четырехугольника (колось) и дуги (дышла).

Созвездие Большой Медведицы не остается, однако, всегда на одном и том же месте неба, а движется вокруг некоторой точки северного неба, так называемого полюса мира, вблизи которого находится Полярная звезда (рис. 6). Последняя лежит на линии, проходящей через два задних колеса Воста, а расстояние ее от Воста приблизительно равно его длине. Полярная звезда является крайней в дышле Малого Воста или Малой Медведицы. Это созвездие также состоит из семи звезд, образующих четырехугольник и дугу.

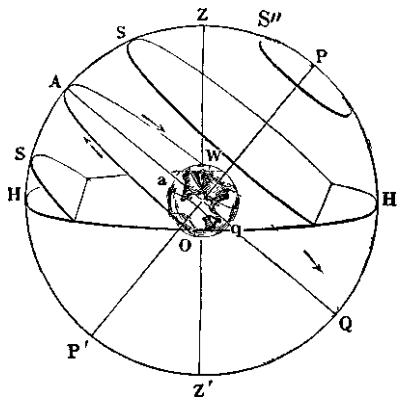
Теперь не трудно заметить, что все друпя звезды—совершенно так же, как Возь—в течение суток совершают оборот вокруг небесного полюса, не меняя своего относительного положения (рис. 2).

Звезды, которых расстояние от полюса меньше, чем расстояние PH' (рис. 2) полюса от горизонта HN' , как легко видеть, никогда не заходят. Такие звезды, напр. $5''$, называются незаходящими звездами. Несколько более далекие от полюса звезды, напр. S' , заходят лишь немного над северную часть горизонта. Они исчезают в какой-нибудь точке между севером и западом и восходят в какой-нибудь точке между севером и востоком. Время, в течение которого их не видно, тем короче, чем ближе они к полюсу, следовательно, чем дальше к северу они заходят и восходят.

Те звезды, которые удалены от северного полюса настолько, что восходят как раз на востоке O и заходят как раз на западе W , остаются на небе в продолжение двенадцати часов. Круг, описываемый такими звездами, носит название небесного экватора, $OA WQ$.

Звезды, лежащие еще дальше от северного полюса, восходят между востоком и югом, а заходят между западом и югом. Они поднимаются на небе не высоко и, если представлять себе небо в виде полной сферы, то нетрудно вообразить неподвижную точку, которая лежит настолько же ниже южной части горизонта, насколько северный полюс лежит выше северной его части. Эту точку P' называют южным полюсом неба.

Рис 2 Путь звезды по видимому небу



начается ее дневной дугой, остальная часть ее суточного пути — ночной дугой. Соответственно этому экваториальные звезды имеют 12 часовую дневную дугу. Для звезд к северу от экватора дневная дуга больше 12 часов, для звезд к югу от экватора она меньше 12 часов.

Так называемые созвездия — те фигуры, которые фантазия древних нарисовала около различных звездных групп, а также названия, которыми мы еще теперь обозначаем эти группы и даже отдельные звезды, проис-

ходят большей частью из Халдеи, Египта, Греции. Однако, и именно в этой части неба,

которая лежит около южного полюса и которой древние не знали, попадают и современные названия, как, например, Воздушный Насос и Электрическая Машина. Для изучения светил с помощью звездной карты удобно начинать с Большой Медведицы или Полярной звезды. Если взять эту карту так, чтобы ее центр закрыл Полярную звезду, и затем повернуть ее так, чтобы изображение Большой Медведицы помещалось в той стороне, где в этот момент видно само созвездие, то эта карта даст изображение и остального неба. Позднее ночью или в том же часу, но в более позднее время года на востоке восходят звезды, которые раньше были под горизонтом, между тем как другие звезды исчезают на западе.

3. Познакомившись сперва с звездами и обратив затем свое внимание на те звезды, между которыми в какой-нибудь вечер находится луна, мы заметим на следующий вечер, что луна, конечно, приняла участие в общем движении свода с востока на запад, но что она, кроме того, передвинулась между звездами на заметное расстояние к востоку. Итак, луна не неподвижна, она движется в направлении, противоположном направлению общего движения. Приблизительно в 28 дней луна совершает таким образом полный оборот. Это дало повод китайцам и индусам разделить звезды на 28 групп, из которых каждая простиралась от полюса до полюса и занимала на экваторе одну двадцать восьмую часть его окружности. Этот способ деления неподвижных звезд на так называемые „лунные дома“ у нас не удержался.

Вследствие своего движения в направлении к востоку луна восходит с каждым днем позднее.

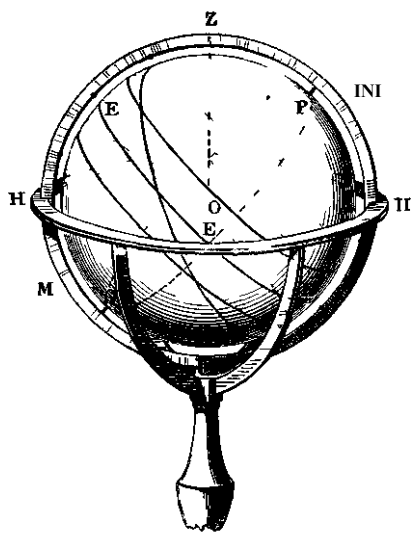
4. Солнце и звезды не бывают видимы одновременно, однако древние скоро заметили, что солнце также не неподвижно. Оно также движется между непо-

движными звездами и почти по тому самому пути, что и луна, но только не так скоро. Для полного оборота ему нужен целый год.

Если бы какая-нибудь звезда в известное время находилась приблизительно в том же направлении, как и солнце, то восходила бы одновременно с ним и потому была бы невидима, то впоследствии, с движением солнца дальше к востоку, эта звезда в известный утренний час появится на восточной стороне неба за несколько времени до восхода солнца. Это так называемый гелиакический (гелиос=солнце) восход звезды. Таким образом древние египтяне заметили, что Сириус, самая яркая неподвижная звезда на всем небе, которую в наших краях можно видеть зимою в южной части неба, в те времена становилась видимой в лучах утренней зари за несколько недель до наступления разлива Нила. Отсюда, по аналогии с чуткой собакой, она получила название Песей Звезды. Другая группа звезд вблизи нее получила название Малого Пса.

5. Тот путь, который солнце описывает на небе, хотя и не удаляется значительно от экватора, но не вполне совпадает с ним. Именно, летом солнце движется севернее экватора, следовательно, по северному полушарию неба, а зимою к югу от экватора, следовательно, по южному полушарию неба. Солнце переходит через экватор 21 марта и 23 сентября. В эти дни дневная дуга сол-

Рис 3



зодиака или эклиптики. Рис 3 пред-
меридиан, P ось мира, EE экватор

нца достигает 12 часов. Такова же и его ночная дуга. Эти дни носят название равноденствий—весеннего и осеннего. Те же дни, когда солнце находится всего дальше к северу или к югу, называются соответственно летним солнцестоянием и зимним солнцестоянием (солнцеворот).

Тогда как неподвижные звезды можно нарисовать на поверхности шара раз навсегда в том относительном положении, какое они всегда занимают на небе, солнце пришлось бы наносить каждый день на другом месте. Путь, который солнце описывает таким образом между неподвижными звездами в течение года, представляет собою круг, плоскость которого наклонена к плоскости экватора и который получил наименование Небесный глобус. HH горизонт, $HZMIN$ вание

ставляет небесный глобус. Он может вра-

щаться на двух шипах P и Q , представляющих полюсы мира, одна половина этого шара лежит выше кольца HH , представляющего горизонт. При вращении шара экватор EE очевидно движется в своей собственной плоскости, так что не только полюсы мира, но и небесный экватор занимают всегда одно и то же место. Напротив, эклиптика (на нашем рисунке круг, который пересекает экватор под острым углом) движется так, что в известное время суток она стоит высоко над горизонтом, а 12 часов спустя гораздо ближе к горизонту.

Созвездия зодиака, по которым названы отдельные части его, имеют достоин-

рическое происхождение. Изображение зодиака, найденное в Дендера, в Египте (рис. 4), которое сначала относили к эпохе за 12000—16000 лет тому назад, принадлежит, вероятно, времени Нерона. Созвездие Весов, кажется, было приравнено Греками последним. С ним число зодиакальных созвездий дошло до 12, так что солнце в каждом из них остается приблизительно впродолжение месяца. Символы (знаки) этих созвездий можно найти иногда в календарях. Их порядок нетрудно запомнить при помощи следующих двух стихов:

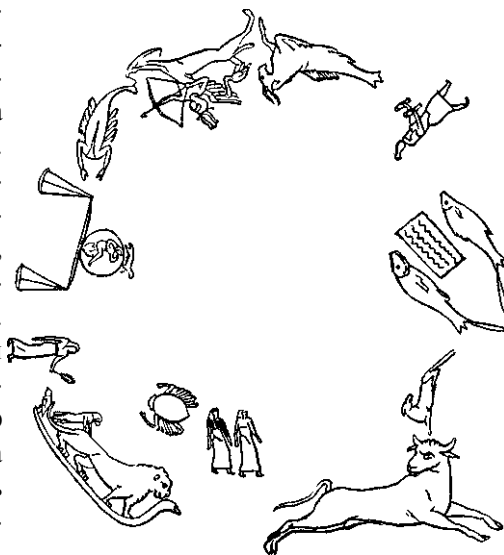
Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Capre, Amphora, Pisces.

Точка пересечения эклиптики с экватором, в которой солнце находится во время весеннего равноденствия, носит название точки весеннего равноденствия или точки Овна.

6. Величина освещенной части луны, фаза, зависит, как легко убедиться при некотором внимании, не от положения луны между звездами, а от ее положения относительно солнца. Когда луна находится приблизительно в том же месте, где и солнце, она невидима и мы имеем „новолуние“. Когда затем луна через несколько дней переместится к восто-

Рис.

4.



ку так, что станет заходить несколько позднее солнца, то она имеет форму серпа. Когда она отходит от солнца приблизительно на четверть круга, она представляет нам „первую четверть“. Когда она заканчивает половину оборота и находится на стороне неба, противоположной солнцу, следовательно, восходит в то время, когда солнце заходит, то мы имеем „полнолуние“. Спустя еще одну четверть оборота, мы имеем „последнюю четверть“. Наконец, она снова нагоняет солнце; но так как солнце само ушло уже на некоторое расстояние к востоку, то их соединение происходит не на том месте между звездами, где было перед этим, а несколько дальше к востоку; таким образом луне после того, как она сделает полный оборот между звездами, нужно еще около двух суток, чтобы снова нагнать солнце. Поэтому мы различаем два периода обращения луны: сидерический, относительно звезд, и синодический, относительно солнца. Практическое значение имеет только синодический месяц, так как им обусловлена смена лунных фаз. Время сидерического оборота луны составляет $27^{\text{д}} 7^{\text{ч}} 48^{\text{м}} 11^{\text{с}}$, приблизительно $27\frac{1}{3}$ суток, а синодического $29^{\text{д}} 12^{\text{ч}} 44^{\text{м}} 2^{\text{с}}$, приблизительно $29\frac{1}{2}$ суток.

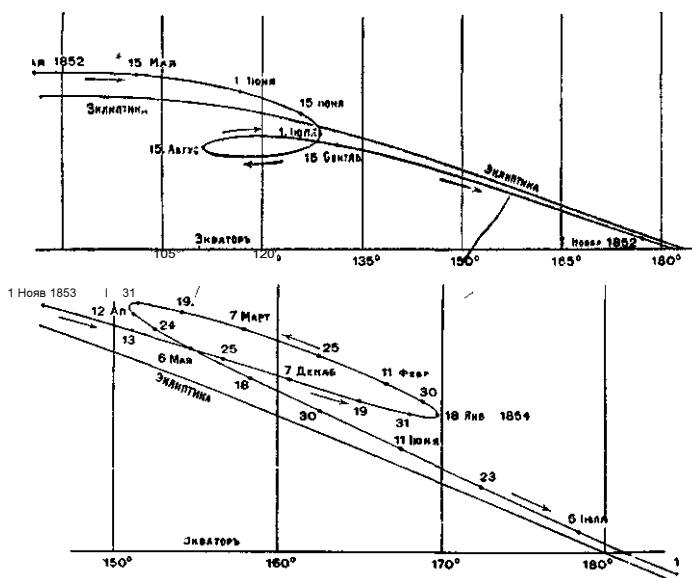
7. Путь луны не совпадает с эклипкой совершенно точно, но все же он лежит настолько близко к ней, что при многих разсуждениях можно вовсе не

принимать в расчет этого отступления. Во время летнего солнцестояния луна при полнолунии должна находиться приблизительно там, где солнце бывает во время зимнего солнцестояния. Значит, она должна стоять на небе низко и должна иметь малую дневную дугу. Во время весеннего равноденствия луна в первой четверти должна находиться там, куда солнце придет через четверть года, следовательно, она должна быть далеко к северу от экватора. В это время она стоит высоко на небе и имеет большую дневную дугу.

Примеры для упражнения. Как высоко стоит луна в первой и последней четверти в сентябре месяце? Объясните, почему осенью луна ВО время полнолуния заходит лишь немного позднее, чем накануне.

8. Древние наблюдали на небе еще пять более или менее ярких светил, которые также не остаются неподвижными относительно звезд, а движутся по зодиаку,

Рис. 5



Части видимого пути Венеры и Марса.

как солнце и луна. Но путь, который они описывают между неподвижными звездами, гораздо неправильнее. Иногда они движутся к востоку, иногда к западу и в то же время поочередно то по одну (северную), то по другую (южную) сторону эклиптики, так что иногда они описывают на небе настоящие петли (рис. 5). Вместе с греками мы называем их планетами, блуждающими звездами. Наконец, иногда неожиданно появляются светила с длинными хвостами, известные под греческим названием комет. И они движутся между неподвижными звездами неправильно.

9. Как тщательно древние наблюдали светила, видно между прочим из той точности, с которой направлены относительно стран света здания египтян. При исследовании развалин этих зданий было найдено, что главные линии их плана идут с востока на запад и с севера на юг. Египетская надпись на стене

развалин одного храма доказывает также, что египтяне считали точную разбивку плана храма¹⁾ чрезвычайно важным деломъ.

Повидимому, в древнейшия времена удовлетворялись, главным образом, определением визирных точек на горизонте; при этом имело большое значе-

Рис. 6



Проектирование линии севера.

ние, что названные народы жили в плоских странах с довольно открытым горизонтомъ.

Если отметить себе точно ту точку горизонта, в которой звезда восходитъ, и ту, в которой она заходитъ, то, как нетрудно видеть, северная точка горизонта будет лежать как раз по середине между этими двумя.

Кроме того, названные народы древности, имевшие хороших архитекторовъ, без сомнения умели пользоваться отвесом для того, чтобы проектировать место звезды на горизонтъ. Если держать шнур отвеса такъ, чтобы он закрывалъ для глаза какую-нибудь звезду, то нижний конец отвеса укажет точку горизонта, которая лежит как раз под звездой. Такое определение севера можно сделать довольно точно при помощи Полярной звезды, так как она движется только по очень малому кругу. Если провести отвесныя линии в те моменты, когда Полярная звезда наиболее удалена вправо и когда она наиболее удалена влево, или взять эти отвесныя линии для любых двух положений Полярной с промежутком в 12 ча-

¹⁾ В Халдее здания располагались скорее такъ, что по четырем странам света направлялись их углы. Эта ориентировка, однако, выполняется далеко не с той точностью, съ какой выполнялась она у египтянъ, отсюда выводили заключение, что халдеи не умели наблюдать так точно, как египтяне. Однако, это заключение нельзя считать вернымъ, так как неизвестно, придавали ли вообще халдеи большое значение точной ориентировке.

сов между ними, ТО точка севера будет лежать как раз по середине между найденными таким образом точками горизонта.

10. Гораздо труднее для древних была задача Определения высоты звезды или солнца над горизонтомъ. Из сведений и рисунковъ, дошедших до насъ, ясно, что все названные народы древности делали это посредством отвесной палки, КО-торою пользовались также греки, называвшие ее гномономъ.

Одна китайская летопись Чеу-Пей, относящаяся, повидимому, к одиннадцатому веку до Р. Х., содержит очень интересное наблюдение, сделанное при помощи этого простого прибора. Автор этого сочинения наблюдал возле Лоянга длину тени, которую отбрасывал в полдень отвесный шест в S футовти длиной, и при томъ один разъ, когда солнце было в летнем солнцестоянии, а другой раз при зимнем солнцестоянии, т. е. при наибольшей и наименьшей полуденной 'высоте солнца. В первом случае длина тени была $1^{13}/24$ ФУ^{та}> во втором 13^8 фута. Как мы увидим ниже, с течением тысячелетий высота, которой солнце достигает летом и зимой, несколько изменяется. И если сделать расчетъ, исходя из нашего времени, ТО, как оказывается, за 1100 лет до Р. Х. солнце в Яоянге должно было стоять как раа на такой высоте, что тени имели указанные в этом сочинении длины. Это указывает на ТО, что данное сочинение не подделка, что при китайских датах иногда требует подтверждения.

11. Длину тени палки можно, конечно, употребить для определения положения солнца, НО длину тени нельзя собственно назвать мерой высоты солнца. Короткая тень указываетъ, конечно, что высота солнца велика, а длинная тень, что эта высота мала. Но длиною тени можно было бы пользоваться, как мерою, если бы двойной длине тени отвечала вдвое меньшая высота солнца. Однако на самом деле это не такъ.

Только халдеи -создали действительно удовлетворительную меру для такого рода вещей. Имея в виду, что солнце в течение года совершает полный оборотъ между звездами, халдеи нашли целесообразным принять за единицу меры дугу, КО-торую солнце проходит в сутки. Эта дуга составляет $1:365^4$ полного круга, так как год имЕет 365^4 сутокъ. Но они округлили. эту дробь в $1/360$ что отличается от истинной величины не более, чем на 0000- Так как они делили кругъ, по которому движется солнце, на 360 частей, ТО и все другие круги они делили таким же образомъ¹⁾.

Этот способ деления позднее был принят александрийскими греками и находится в употреблении и по нынешний день. Мы называем эти части градусами и обозначаемъ, например, дугу, равную тринадцати трехсотшестидесятым круга посредством 13° .

Линия, которою описан кругъ, или радиусъ, можно отложить по кругу въ виде хорды, как раз шесть раз один за другимъ. Это побудило халдеев делить каждый градус на 60 минут и каждую минуту на 60 секундъ; мы пишем те-

перь, напримеръ, $13^\circ 47' 19''$ вместо

...
360

¹⁾ Китайцы, повидимому, разделяли круги,тоже соответственно суточному движению солнца, на $365V_4$ частей, что представляло очень неудобное деление для всех кругов кроме эклиптики.

Как сложна была задача, решенная таким образом, можно понять лучше всего, если подумать, как трудно сговориться с кем-нибудь относительно видимого расстояния двух звезд друг от друга, если пытаться выразить его в мерах длины. Если один оценивает это расстояние в метр, а другой в половину метра, то это доказывает только, что они представляют себе звезды на различном расстоянии. Напротив, халдеи создали такую меру для расстояния двух звезд, которая остается всегда одной и той же, независимо от того, на каком расстоянии воображать себе звезды. 13° или $13/360$ окружности круга есть, например, нечто такое, что можно представить себе на всяком месте неба. Сравнительно нетрудно выбрать меру для более осязаемых предметов, метр, фунт и т. п., но изобретение меры для несуществующих, а только воображаемых дуг на небе знаменует огромный шаг вперед в культуре человечества.

Преимущество этой вновь введенной меры лежит, следовательно, не в делении на 360 и 60 частей и затем еще на 60 частей. Такое деление скорее можно назвать неудобным, если мы вообще ведем счет по десятичной системе. Но если даже французская революция не могла разделиться с этим числом и если мы всякий раз, когда смотрим на часы, приспособляем наше представление, приученное к десятичной системе, к шестеричной системе халдеев, то это есть дань, которую мы в наш век железных дорог приносим древнему народу, разрешившему трудную задачу: найти меру для столь мало осязательной вещи, как угловые расстояния звезд.

Пример 1. Если звезда заходит на расстоянии $32^\circ 15'$ от северной точки горизонта, то на каком расстоянии она находится от западной, южной и восточной точек горизонта?

2. Если солнце находится на высоте 66° над горизонтом, как велико его расстояние от зенита и от надира, т. е. от тех точек, в которых отвесная линия пересекает небесную сферу сверху и внизу?

12. После того как была найдена мера, устройство приспособлений, при помощи которых можно было бы производить эти измерения, не представляло особых трудностей.

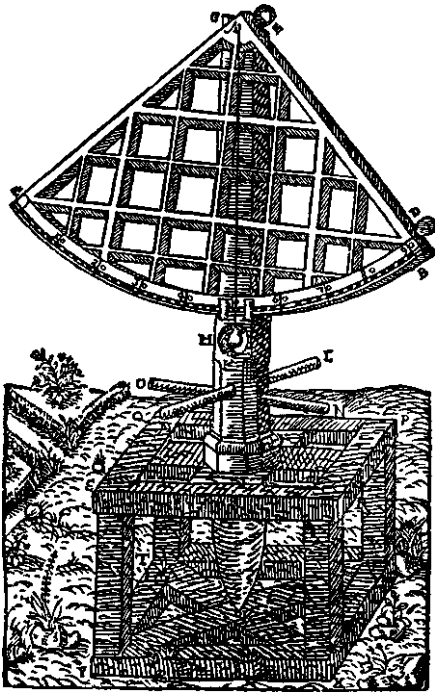
Греки упоминают о таком приспособлении, которое изобрел архитектор Эодор из Самоса. Это доказывает во всяком случае, что подобные приспособления были уже известны в VII веке до Р. Х.; может быть, это указывает и на то, что они пришли с востока. В самом деле легко допустить, что халдеи дали и практическое применение своего изобретения.

За недостатком достоверных рисунков таких инструментов из древности и на рис. 7 изображен квадрант (четверть круга), который построил и употреблял Тихо Браге. Он висит на вертикальном столбе; при помощи рукояток O и QL этот столб можно поворачивать таким образом, чтобы плоскость квадранта проходила через звезду, высота которой измеряется. Самый квадрант может вращаться в своем центре A на горизонтальном шипе, укрепленном в столбе, из его центра свешивается на шнурке отвес $H - D$ и E суть визиры, которые направляются на звезду. Их направление параллельно той линии, которая соединяет центр квадранта с штрихом 90° . Таким образом зенитное расстояние звезды

равно числу градусов от 90 до отвеса и, значить, высота звезды (дополнительный угол зенитного разстояния до 90°) равна числу градусов от 0° до отвеса.

13. Одним из самых важных определений высот, какие только сделали древние,—гномоном или разделенным кругом—было измерение высоты солнца въ эпохи летняго и зимняго солнцестояний (ср. § 10). Еслимы в какомъ-нибудь месте, лежащемъ, напримеръ, под 50° широты, найдем полуденную высоту солнца ,во время летняго солнцестояния равной $63^\circ 27'$, а во время зимняго солнцестояния рав-

Рис. 7



ной $16^\circ 33'$, то очевидно в первомъ случае солнце было ближе к северному полюсу на $46^\circ 54'$. Следовательно, оно удаляется от экватора в обе стороны на $23^\circ 27'$. Это и есть так называемый наклон эклиптики к экватору.

14. Движения солнца, луны и звезд дают естественныя опорныя точки для счета времени. Небесныя наблюдения древних народов имели поэтому особенное значение для подразделения и счисления времени.

Для обитателей более северныхъ стран может казаться несколько удивительнымъ, что древние народы при своем подразделении времени могли иногда отдавать предпочтение луне перед солнцемъ. Смена дня и ночи есть такое явление, которое волей или неволей заставляегь человека сообразоваться с нимъ; с другой стороны, разли-

между летом и зимой настолько глубоко, что счисление по солнечнымъ годам является почти неизбежнымъ. Нужно однако помнить, что указанные народы жили в таком климате, где разница между летом и зимой не очень велика, тогда как при тех мягких ночахъ, продолжительность которых в течение круглага года близка к 12 часамъ, свет луны играет важную роль в жизни человека.

Но время, в течение которого происходит полная смена фаз луны, как и солнечный годъ, не составляет целого числа сутокъ; вследствие этого оказывается затруднительным определить раз навсеида число суток в месяце и в году. Кроме того, времена обращения луны и солнца не находятся в простом соотношении друг с другом и потому еще труднее правильно согласовать между собою месяц и годъ. Здесь мы приведем несколько отдельных примеров счисления времени у древнихъ.

15. Египтяне считали свой год в 365 сутокъ, тогда как в действительности он длиннее этого приблизительно на четверть сутокъ. Вследствие этого к концу первого года у них не хватало немного до полного оборота, к концу второго года

не хватало вдвое больше и т. д. Солнце занимало определенное положение на небе, а значить, и времена года наступали постепенно позднее и позднее относительно чисель месяца, и по истечении нескольких столетий лето приходилось на те месяцы, которые в начале счета были зимними. Первоначальный порядок должен был снова возвращаться по истечении 1460 лет, так как за этот промежуток времени ежегодные запаздывания солнца давали уже целый его оборот.

Это было известно египтянам, и так как первый год этого длинного периода совпадал с гелиакическим восходом звезды Пса (ср. § 4) и затем проходило 1460 лет, пока начало года снова совпадало с этим восходом, то этот период называли периодом звезды Пса или Сотись. Один такой период начался в 2782 году до Р. Х., следующий в 1322 году до Р. Х., третий в 139 году по Р. Х.

16. У египтян и других народов древности точные определения этого рода составляли обязанность государства и религии и выполнялись жрецами, тогда как простой народ придерживался других способов подразделения времени, основанных на более заметных явлениях. Так в Египте пользовались лунным месяцем, начало которого считалось с того дня, в который луна впервые появлялась после новолуния. Евреи в древнее время также считали по лунным месяцам, но их год не всегда имел 12 месяцев. Евреи также начинали счет месяца с того дня, в который луна становилась вновь видимой, а год считали, смотря по обстоятельствам, в 12 или в 13 месяцев. Обстоятельствами, которые принимались здесь в расчет, являлись жатвы, так как первый колос должен был приноситься в жертву Иегове во время Пасхи, падавшей на первый месяц года (Нисань). Таким образом выходило, что времена года никогда не смещались значительно относительно месяцев. В связи с этим стоит также и то, что христианская Пасха не всегда падает на один и тот же день.

Напротив того, у арабов и у многих магометанских народов имело место постоянное перемещение начала года, у них месяц имел поочередно 29 и 30 дней, а год состоял всегда из 12 таких месяцев, из шести месяцев по 30 и шести по 29 суток. Таким образом их год сравнительно с действительным был слишком короток приблизительно на 11 суток. Вследствие этого времена года смещались относительно месяцев и притом очень быстро, так что по истечении 33 арабских или 32 действительных лет они снова приходились на надлежащие месяцы. Но лунный месяц на $44^{\circ} 3'$ длиннее $29\frac{1}{2}$ суток (§ 6). Следовательно, по истечении нескольких лет движение луны уже не соответствовало месяцу и для получения согласия приходилось вставлять, приблизительно каждый третий год, одни сутки на исправление запоздания. Последний месяц года, который должен был бы иметь 29 суток, получал ради этого исправления 30 суток. Таким образом в известной степени достигалось согласование месяца с движением луны, но этот год совершенно не соответствовал движению солнца.

17. Легко понять, как трудно было найти счисление времени, которое соответствовало бы движению и солнца и луны. Народ, который не боялся умозрительных задач, а именно греки, получил от оракула ответ, что год должен согласоваться с движением солнца, а месяцы и дни с движением луны. Они старались упорядочить счисление времени различными способами, но удовлетворительное решение этого вопроса предложил только Метон на Олимпийских играх в 432

году до Р. Х. Метон рассчитал, что в течение 6940 суток солнце делает 19 оборотов, а луна 235. Поэтому он предложил вести счет таким образом, чтобы 19 лет содержали 236 месяцев и 6940 суток. Месяцы должны были иметь иногда 29, иногда 30 суток, благодаря чему начало месяца никогда не могло сдвигаться относительно фаз луны больше, чем на полсутки. Далее годы по счислению Метона должны были иметь иногда 12, иногда 13 месяцев, так что начало года не могло сдвигаться относительно времен года больше, чем на полмесяца. Это предложение было единогласно принято и было введено не только в Греции, но одновременно и во всех ее колониях. Это исчисление было начертано золотыми буквами в общественных местах, откуда и получилось название „золотое число“, перешедшее и в календари нового времени.

Метонов цикл оказался однако не вполне правильным. Период в 6940 суток превышает 19 лет на $9\frac{1}{2}$ часов и 235 лунных месяцев на $7\frac{1}{2}$ часов. Эта погрешность была исправлена Калиппом, предложившим соединять четыре Метоновых периода в один больший период в 76 лет, первый месяц которого должен был терять одни из своих тридцати суток.

Трудная задача согласовать при единообразном исчислении времени движения солнца и луны была, таким образом, решена очень точно и фазы луны согласовались с календарными месяцами; однако то обстоятельство, что годы в этом счислении не равны, а имеют то 354, то 384 суток, было бы для нашей гражданской жизни во всяком случае довольно неудобно.

18. Наше нынешнее счисление времени перешло к нам из Рима и основано только на движении солнца. До Юлия Цезаря в Риме был в употреблении календарь с 12 месяцами. Названия месяцев были те же, что и теперь, за исключением июля и августа, которые были введены только позднее (вместо Quintilis и Sextilis) в честь Цезаря и Августа. Число дней в месяце было от 28 до 31, но в общем оно было слишком мало, так что каждый второй год нужно было вставлять один месяц (Mercedonius) в 22 или 23 дня. Этот календарь не согласовался ни с солнечным, ни с лунным движением. Юлий Цезарь[^] при содействии александрийского астронома Созигена, решил его улучшить. После года в 445 суток, „года путаницы“, в 46 году до Р. Х. был введен в употребление Юлианский календарь, в котором на каждые три года по 365 суток приходился один високосный год в 366 суток. Этот календарь позднее был принят христианской церковью и високосными годами считаются те, число которых делится на четыре, например, 1896.

Так как месяцы этого календаря не согласуются уже с движением луны, то каждый месяц сохранил то число суток, которое ему произвольно дали римляне. Всем известно, как можно по косточкам руки рассчитать, какие месяцы имеют 30 и какие 31 день. Февраль имеет 28, а в високосные годы 29 дней. У римлян вставным днем было 24-ое число, которое повторялось дважды. Поэтому иногда еще и теперь можно найти в календаре обозначенным, как вставной день, 24 число (вместо 29).

19. В Юлианском календаре год принимается в среднем в $365\frac{1}{4}$ суток, т. е. большие истинного на $11'' 12^c$. Эта ошибка в 129 лет составляет целых сутки.

На эту ошибку указал в XIII веке Роджер Бэконъ, тщетно рекомендовавший папе ее исправление. Но лишь спустя три столетия, когда в этом же смысле высказалось много голосовъ, папа Григорий XIII назначил ученую комиссию, согласно предложению которой в 1583 году папской буллой был введен Григорианский календарь.

Чтобы связать этот календарь с Никейским собором (325 г. поР. Х.), на котором было постановлено, что Пасха должно падать на воскресенье за первым полнолунием после весенняго равноденствш (ср. § 16), было повелено выпустить десять лишних дней, набежавших за истекшия со времени собора 1257 летъ. Соответственно этому день, следовавший за 4 октября 1582 года, был принят за 15 октября.

А оля того, чтобы в будущем не могла вкраться подобная ошибка, было постановлено:

Год должен иметь 365 сутокъ.

Исключение. Если число года делится на четыре, то год должен иметь 366 сутокъ.

Исключение из исключения. Так называемые вековые годы, например, 1800, 1900 и т. п. должны иметь только 365 сутокъ, хотя их число делится на четыре.

Исключение из исключения исключения. Те вековые годы, число которых делится на 400, например, 1600, 2000, должны иметь 366 сутокъ.

Календарь оставался бы при этом улучшении правильнымъ, еслибы Юлианский календарь давал ошибку как раз на трое суток в чеиыреста лет или на одне сутки в ИЗЗУд года. Но ошибка эгого календаря составляет одне сутки в 129 ЛБИЪ. Таким образом с течением времени ошибка снова накопится и потому Григорианский календарь определяет заранее, что год 4840 по Р. Х. не должен быть високоснымъ, как это выходит по обычному правилу. Еще через 3600 летъ придется снова подумать об исправленш и снова выпускать один високосный день и т. д.

Протестантския страны сдержанно относились ко всему, что шло со стороны папъ, и потому там медлили съ введением этого „нового стиля". Более ста летъ здесь оставались позади папистов на 10 сутокъ. 1600 год не увеличил разницы, так как он был високосным годом и по Юлианскому и по Григорианскому календарю. 1700 год напротив повысил бы разницу до 11 сутокъ. Но в этомъ году в протестантской Германии, въ Дании и других странах также перешли къ новому календарю и за 18 февраля наступило непосредственно 1 марта.

С другой стороны Россия в 1700 и 1800 годах теряла по одному дню и так как и в 1900 году она не перешла к Григорианскому календарю, то теперь она отстает от него на 13 сутокъ.

При такой трудности согласовать календарь съ солнцем по необходимости пришлось совершенно не считаться с движением луны; теперь довольствуются темъ, что дают в календарях положение луны на каждый день. Таким образом наше деление на месяцы есть пережиток более древних культур и не сохранило почти никакой связи с фазами луны.

20. Что касается деления времени на недели, то особенно замѣчательно число дней въ неделе, так какъ число семь не стоит в связи ни с системами счи-

сления каких-либо народов, ни с движением луны. Еслибы месяц имел 28 суток, то деление его на четыре части было бы понятно. Но так как месяц содержит скорее 30 суток, то легче было бы понять деление на 2, 3, 5, 6 или 10 частей.

Греческий писатель II столетия по Р. Х. Дион Кассий связывает деление на недели и названия дней недели с известными тогда семью подвижными светилами: солнцем, луною и пятью планетами. Это объяснение представляется однако несколько искусственным¹⁾.

Дни недели уже у египтян носили имена в соответствии с небесными телами. Напротив того, у евреев не было особых имен для дней недели за исключением „субботы“. Остальные дни обозначались первыми буквами алфавита. Естественной связи между планетами и днями недели указать, однако, нельзя. Здесь может идти речь только о религиозных объяснениях, как в Библии (1. Быт. 1, 2).

21. Как известно, от времени до времени происходят затмения большей или меньшей части лунного диска. Все образованные народы древности умели, по видимому, предсказывать эти затмения, а в Китае, как мы знаем, это принадлежало к важнейшим обязанностям астрономов. Небрежность в исполнении этих обязанностей иногда наказывалась даже смертью. Даже в исторические времена мы находим еще примеры таких казней, равно как и примеры приглашения индусских или европейских астрономов, так как празднества, которые справлялись при этих затмениях, считались настолько важными, что пренебрегать ими нельзя было ни в каком случае.

Так, древние документы сообщают о казни астрономов Хи и Хо, не предсказавших своевременно! но солнечного затмения 13 октября 2128 г. до Р. Х.

Возможность предсказания затмений основывалась на том открытии, что в период 18 лет и 11 дней (точнее 6585³²/₃₂ суток), т. е. по истечении 222 синодических месяцев затмения повторяются в том же порядке и имеют приблизительно ту же величину. Эта периодичность, однако, не вполне точна; иные затмения выходят, например, несколько полнее, другие несколько меньше, чем в предшествующем периоде. Равным образом иногда происходит новое слабое затмение, которое в последующие периоды становится больше, тогда как одно из старых затмений может постепенно исчезнуть. Хотя упомянутые выше китайские астрономы и имели в своем распоряжении длинные ряды наблюдений, все же нетрудно понять, как можно было проглядеть появление нового затмения.—Грек Алес (§ 23), должно быть, обучался этому искусству у египтян, но позднее греки, по видимому,

¹⁾ Кассий приводит эти семь небесных тел соответственно скорости их движения по небу в следующем порядке: Сатурн (самый медленный), Юпитер, Марс, Солнце, Венера, Меркурий и Луна. Каждому из них посвящается час, и притом первый час после 12 в ночь на субботу посвящен Сатурну, затем каждый следующий час следующей планете, следовательно седьмой час луны, а восьмой снова Сатурну и т. д. При таком порядке солнце получает час от 12 до 1 в ночь на воскресенье. Поэтому суббота получила имя от Сатурна, воскресенье от солнца и т. д. В соответственные часы понедельника, вторника, среды, четверга и пятницы приходятся по порядку Марс, Меркурий, Юпитер и Венера. Названия дней недели на различных европейских языках действительно согласуются с этим объяснением. Но конечно с таким же основанием можно принять, что названия планет были даны дням недели только потому, что число тех и других было одинаково.

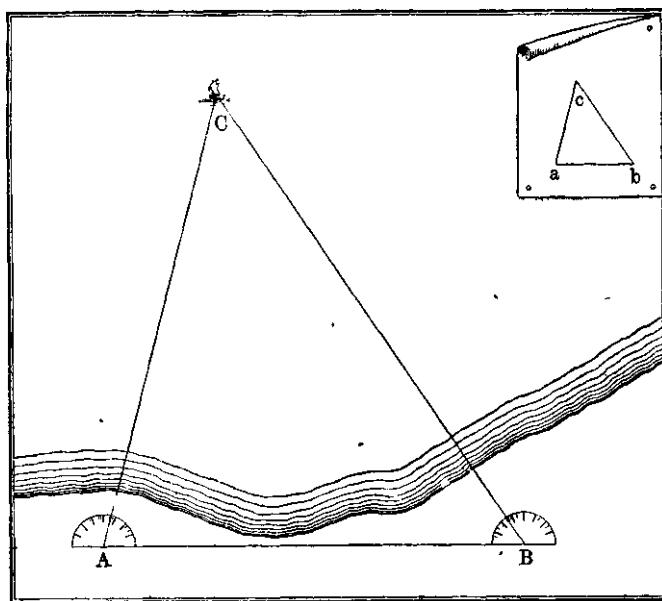
отдали предпочтение халдеям; сколько можно судить, это объяснялось тем, что у халдеев были многолетние тщательные наблюдения, в которых нуждались греки. Халдеи сообщали Александру Великому, что у них имеются наблюдения за 1903 года, и за это время имелись 832 лунных затмения и 373 солнечных. Это очень хорошо согласуется с тем, что могло быть на самом деле; при этом нужно иметь в виду, что в Вавилонии при всегда почти безоблачном небе пройти незамеченными могли только немногие затмения.

Греки

22. В то время, как у китайцев, индусов, халдеев и египтян история изучения природы не была еще связана с определенными личностями—разве только с тем или другим мифическим царем—, у греков история естествознания сплетается уже с именами его творцов, но сведения эти вначале не отличаются достоверностью. В рассказах о древнейших греческих мудрецах обыкновенно отмечается, что они более или менее долгое время учились в Египте. Те вопросы, которые не выяснялись непосредственно, греческие „философы“ старались разрешить путем размышления. Таким образом они создали тот мыслительный аппарат, который носит название математики и без которого невозможно глубокое естествознание. Греки имели также представления о многих соотношениях между явлениями природы, о которых более древние народы, по видимому, не знали ничего.

23. Пифагор Милетский (около 640—548 г. до Р. Х.), первый из „семи мудрецов Греции“, признается основателем математики. Хотя мы здесь не можем

Рис 8



Измерение расстояния корабля

глубже вдаваться в этот предмет, но нельзя не привести решения одной задачи, при помощи которого Пифагор определял расстояние корабля на море. Эта

самая задача определения расстояния недоступного предмета встречается также при измерении расстояний небесных тел. Два наблюдателя A и B (рис. 8) становятся на берегу на известном расстоянии друг от друга, например, в 1000 м. Каждый из них снабжен разделенным кругом и держит этот круг так, чтобы его нулевое деление было обращено к другому наблюдателю. Затем оба они визируют через центр своего круга на корабль и замечают, через какой градус на круге проходит эта линия зрения. Теперь, если угодно, можно все это нарисовать в уменьшенном виде, приложив к какой-нибудь линии AB разделенные круги в точках a и b и проведя две линии через соответственные точки делений круга. Эти две линии пересекаются в точке c и таким образом получается уменьшенное изображение большого треугольника ABC . А так как ab представляет линию AB , длиною в 1000 м, то ею можно измерить линию ac , которая представить расстояние AC корабля от точки A .

Возможность решить подобную задачу несомненно послужила для алес и для греков вообще толчком к тому, чтобы идти по этому пути дальше, и в течение следующих столетий математика сделала поразительные успехи. Несмотря на то громадное значение, которое математика имеет для естествознания, мы не можем здесь входить более подробно в историю развития этой науки.

24. Был еще другой вопрос, который греки, в противоположность древним, старались Ищательно себе выяснить, именно вопрос о строении вселенной. Египтяне представляли себе строение вселенной только символически (рис. 9); в бо-

Рис 9



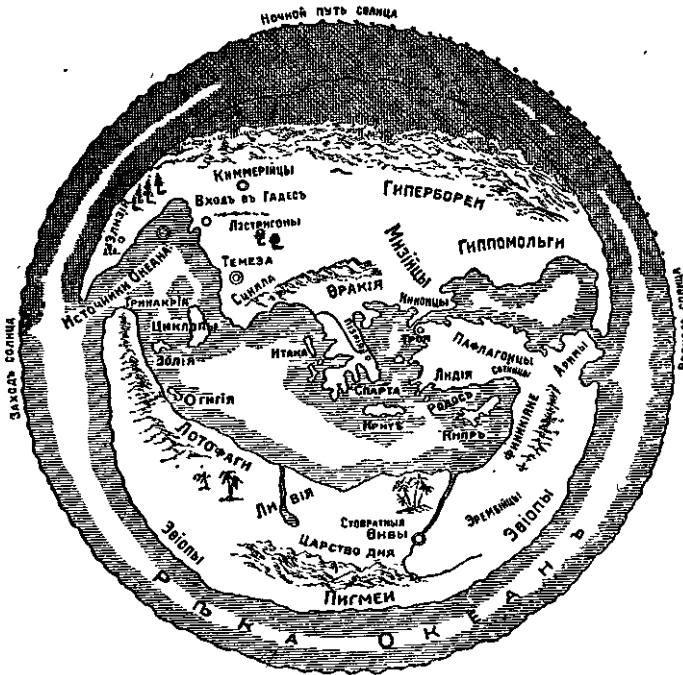
Египетский символ вселенной.

лее древнее время греки также создавали подобная мистическая представления, например, что земля имеет вид плоскости и что ее обтекает могучая река Океан (рис. 10), а последний ограничен великой чашей неба, к которой прикреплены звезды; солнце было отверстием в этой чаше, сквозь которое виден огонь, находящийся снаружи чаши. Когда это отверстие закрывалось, наступало солнечное затмение.

Но уже Пифагор (род. около 580 г. до Р. Х.) или во всяком случае его школа еще в V веке до Р. Х. придерживались воззрения, что небесные тела прикреп-

лены к огромной хрустальной шарообразной чаше, движущейся под звуки неслышной нам небесной музыки; кроме того, они определенно высказывались, что не только солнце и луна, но и земля есть Ииаръ. Они говорили даже об антиподахъ, т. е. людях на другой стороне земли, обращенных к нам ногами. Что само море должно иметь кривизну, можно было легко видеть, наблюдая удаляющееся

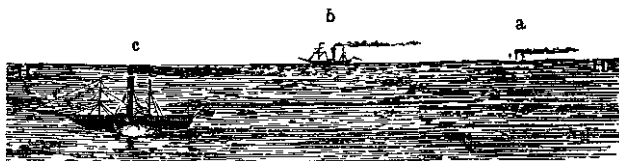
Рис 10



Мистическое представление греков о реке Океане.

судно (рис. 11). На известном разстоянии исчезает прежде всего корпус судна, а затем постепенно и его мачта. Это, конечно, легко наблюдать в таком чистомъ воздухе, какой так часто бывает на берегах Средиземного моря. Так как эта

Рис. 11



Исчезание корабля вследствие кривизны земной поверхности.

кривизна наблюдается по всем направлениямъ, всюду, куда бы мы ни переехали, то греки заключили, что такой кривизной должна обладать вся поверхность земли.

Пи агору были также известны причины затмешъ. Когда луна находится между нами и солнцемъ, то она может совершенно или отчасти закрыть солнце; таким образом солнце может затмеваться. Очевидно, это может происходить только во вре-

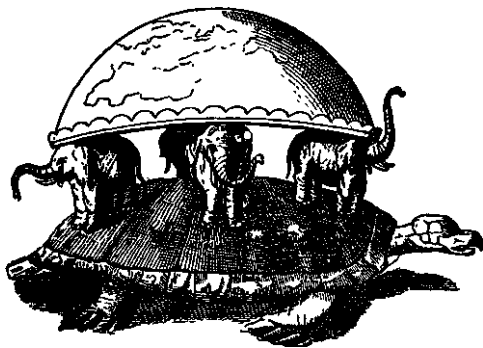
мя новолуния, следовательно, когда луна -невидима. Но это бывает не при всякомъ новолунии, так как луна обыкновенно не пересекает той линии, по которой мы видим солнце.

Когда, с другой стороны, земля находится между солнцем и луной, следовательно, во время полнолуния, тень земли может упасть на луну. Пифагор признавал это за причину лунных затмений. Большинство полнолуний проходить, однако, минуя земную тень.

Земная тень на луне всегда имеет форму круга, и потому круглой должна быть и сама земля; а так как это случается не только тогда, когда затмившаяся луна стоит высоко на небе (в Июльноть) но и тогда, когда она стоит на небе низко на востоке (вскоре после захода солнца) или на западе (не задолго до восхода солнца), то земля не может быть круглым диском, а должна быть круглой, как шаръ: шаръ есть единственное тело, которое бросает круглую тень, с какой стороны ни упадет на него свет

25. Теперь возникал вопросъ, чем держится земля. Народы древности отвечали на этот вопросъ разнo. Такъ, индусы думали, что землю поддерживают че-

рис 12



Поддержка земли по представлению индусовъ.

тыре слона, которые сами стоят на черепахе (рис. 12). Некоторые из ран-

них греческих философов думали, что земля плавает на воде, наполняющей ровно половину небесного шара, или на сгущенном воздухе; другие же полага-ли, что она имеет корни в безконечности. Парменид (современник Сократа) сумел ответить на этот вопрос другимъ вопросомъ: куда должна падать земля? Ведь она находится въ центре и все вокруг земли находится над ней.

Вместе с этим направление внизъ

становится равнозначащим с направле-

нием к центру земли. В каждом месте земли имеется свой низ (надиръ) и верх (зенитъ). Люди, стоящие в разных местах на земле, относительно земли находятся все в одном положении. Но всякий склонен всегда считать себя наверху и считать свой „верхъ" правильнымъ, тогда как другие люди кажутся ему сходящими по бокам или внизу и потому не прямо. Переносясь на другое место, человек переносит с собой это представление на новое место.

26 Наблюдатель в наших широтах видит северный полюс P неба (рис. 13), т. е. ту точку, вокруг которой видимо вращается небесный сводъ, между зенитом Z и горизонтом. Некоторые звезды представляются ему незаходящими, другие имеют более или менее длинные дневные дуги, и плоскости которых, однако, все наклонены к горизонту. Напротивъ, наблюдатель, помещающийся на томъ месте земли, которое лежит „как раз подъ" P , т. е. на северном полюсе земли, видит небесный полюс отвесно над собой (рис. 14), и все небесные тела северной половины неба являются для него незаходящими и описывают горизонтальные пути.

Когда солнце, луна или планеты находятся на северном полушарии неба, то и они являются незаходящими и описывают горизонтальные пути. И так как они постепенно и медленно то приближаются к северному полюсу неба, то снова удаляются от него, то на северном полюсе можно видеть, что солнце в день весеннего равноденствия появляется на горизонте, обходит его кругом и в течение следующей четверти года медленно подымается до высоты 23° по некоторой спиральной линии,

в следующую четверть года снова опускается и наконец исчезает под горизонтом.

Затем в продолжение полугода оно движется под горизонтом, производя несколько времени после исчезновения и перед новым появлением зарю, которая в течение суток, следуя за солнцем, обходит кругом весь горизонт.

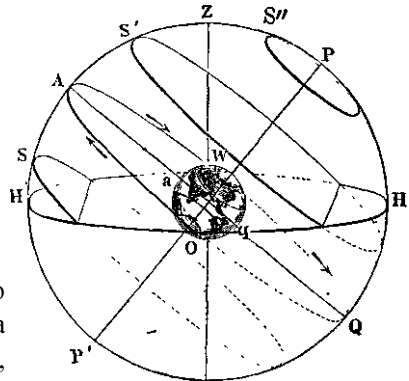
Наконец, есть места на земле, именно на ее экваторе, где северный полюс неба лежит на горизонте. Южный полюс неба, естественно, тогда также лежит на горизонте (рис. 15). Все небесные тела имеют здесь

как дневную, так и ночную дугу по 12 часам; одни из них движутся по большим кругам, другие по меньшим, но все так, что восходят и заходят отвесно. То же имеет место и для солнца. Поэтому сумерки здесь продолжаются недолго.

27. Совершенно естественно у греков также должен был возникнуть вопрос о величине земного шара.

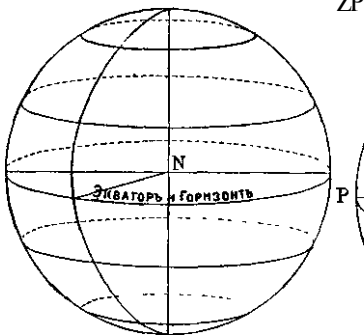
Первым писателем, у которого мы находим данные по этому предмету, является Аристотель. Он родился в 384 г. до Р. Х. в Стагире. Его отец

Рис. 13



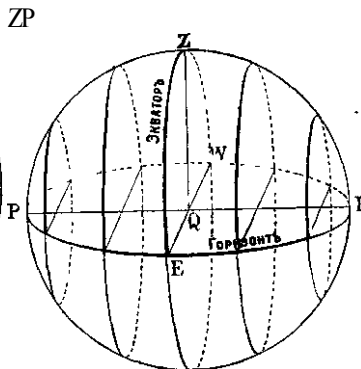
Вращение неба, видимое из места средней широты.

Рис. 14



Вращение неба, видимое с северного полюса земли.

Рис. 15



Вращение неба, видимое из точки экватора.

был придворным врачом македонского царя. 18 лет от роду Аристотель переселился в Афины, где в течение 20 лет был учеником Платона. Когда ему было около 40 лет от роду, Филипп Македонский назначил его воспитате-

лем своего сына Александра, на которого он приобрел большое влияние. Аристотель былученный и высоко образованный человек и превосходный наставник. Когда Александр вззошел на тронъ, Аристотель снова переселился в Аины, где основал школу (перипатетическую), которую посещало множество учениковъ. Онъ владел всем знаниемъ, которое к тому времени было добыто (полигисторъ), составил множество трудов по самым различным предметам и его взгляды приобрели большое влияние. Хотя он был далеко не так глубокъ, как Платонъ, его воззрения на природу встретили гораздо больше сочувствия: это был превосходный систематикъ, облакавший свои учения в подкуцающую логическую форму. Его объяснения явлений природы, как мы увидимъ, вовсе не обладают большой ценностью, но в истории естествознания они играли важную роль, так как служили предметом научных споров в течение целых тысячелетий. Вследствие политических волнений он должен был покинуть Аины и умер в 322 г. на острове Эвбее, в бедности и одиночестве. Аристотель говорить, что все математики определяют окружность земли в 400 000 стадий, но он не указывает, кто определил эту величину и каким способомъ. Эта цифра, правда, приблизительно вдвое больше действительной величины, но повидимому она не взята прямо наудачу.

28. Первое измерение, о котором мы имеем достоверныя сведения, принадлежит Эратосену, родившемуся в городе Сиене (Египетъ) в 276 г. до Р. Х. В 236 г. он стал заведующим большой библиотекой в Александрии, в 195 г. ослеп и вскоре затем умеръ. Некоторые утверждают, что он сам кончил жизнь голодом в отчаянии от своего ослепления.

. Эратосен сооружал инструменты для измерения углов и по его предложению царь Птолемей приказал устроить на крыше музея большия, прекрасныя армиллярныя сферы, т. е. шары, образованные кольцами, представлявшими важнейшея круги на небе. Эратосен зналъ, что в Сиене был колодезь, дно которого освещалось солнцем в день летняго солнцестояния. Другими словами, солнце в это время было для Сиены в зените. Эратосен нашель, что в то же время в Александрии солнце стояло к югу от линии отвеса на $\frac{1}{50}$ окружности, т. е. на $7^{\circ} 12'$; расстояние же этих двух мест он определял в 5000 стадий. Из этих данных он вычислил величину земного шара.

Если начертить круг (рис. 17), представляющий окружность земли, которая проходит через Сиену S и через Александрию A , то солнце должно стоять отвесно над S , следовательно, в направлении MSO . Отвесная линия в Александрии есть MAP , а солнце стоит в направлении AO . Угол $OAP = V$ есть, следовательно, $7^{\circ} 12'$. Но этот угол равен углу ϵ , и потому расстояние между Сиеной S и Александрией A равно $\frac{1}{50}$ окружности земли. Так как это расстояние составляло 5000 стадий, то окружность земли равняется 50×5000 или 250 000 стадий. Хотя длина греческой стадии неизвестна вполне точно, однако, можно сказать, что измерение Эратосена было довольно точно. Результат его измерения был вероятно слишком велик. Окружность земли составляет 5400 географических миль, следовательно, ея поперечник имеет 1719 миль, а радиус $859\frac{1}{2}$ миль.

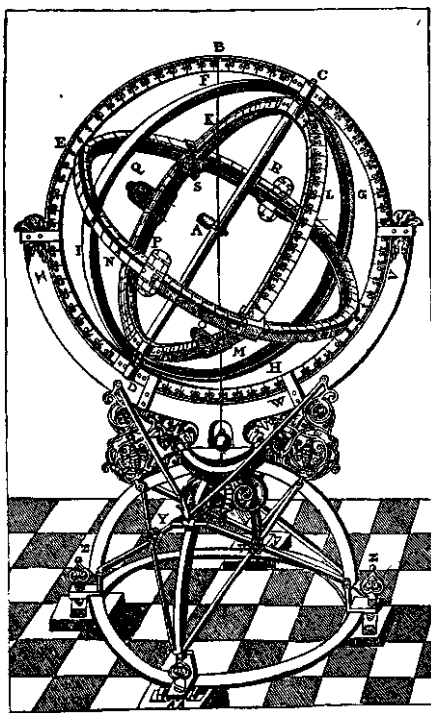
29. Современником Эратосена был Арист'тархъ, родившийся на острове Самосе в 267 г.

Уже Пигагорейцы говорили о движении земли вокруг центрального огня, подъ

которым они вероятно разумели не солнце, а какой-то огонь далеко на юге, так как, чем дальше к югу, тем становится теплее. Возможно, что позднее это учение развилось несколько дальше, но повидимому Аристарх все-таки первый высказал вполне ясно, что земля делает оборот вокруг своей оси в течение суток и что она движется вокруг солнца по наклонному кругу в течение одного года.

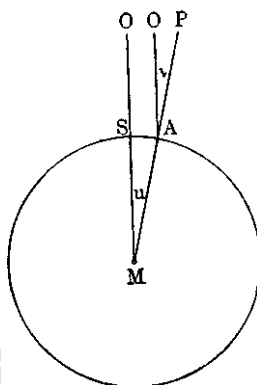
Мы знаем, как легко ошибиться, решая, движется ли тот железнодорожный поезд, в котором сидим мы, или движется в противоположном направлении другой

Рис. 16



Старинная армиллярная сфера.

Рис. 17



Измерение величины земли.

поезд, стоящий рядом с нами; нам поэтому легко понять, что по внешнему виду не будет разницы, будет ли двигаться небо в одном направлении или земля в противоположном. Но в поезде можно иногда наблюдать другие побочные обстоятельства движения, толчки вагона, переход от покоя к движению и наоборот. При вращении же земли нет никаких толчков и никаких изменений движения

С другой стороны, нужно, однако, заметить, что Аристарх не дал доказательства вращения земли, хотя и считал более вероятным, что вращается маленькая земля, а огромное объемлющее ее небо находится в покое.

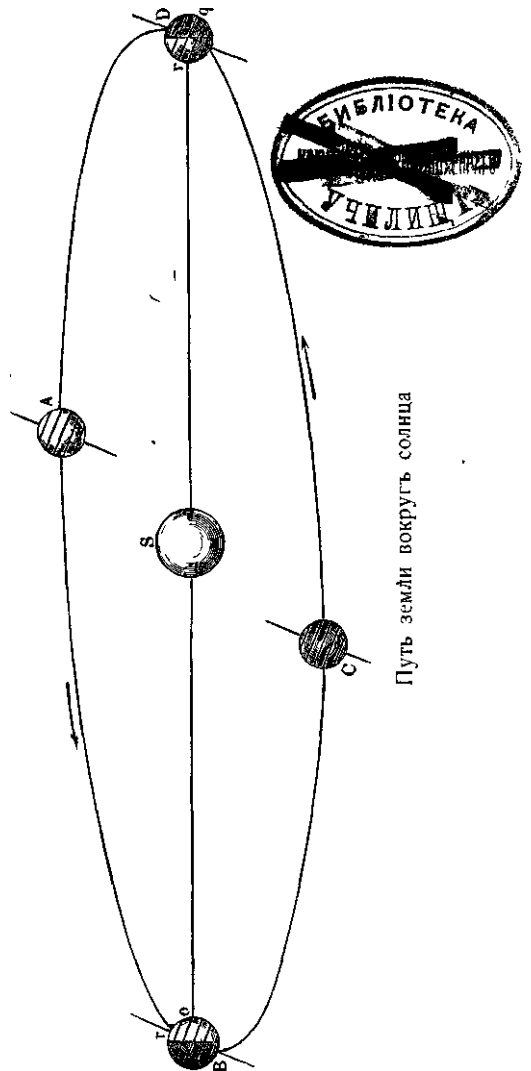
30. Другое утверждение Аристарха, а именно, что земля движется вокруг солнца по наклонному кругу, вполне объясняет движение солнца по эклиптике. На рис. 18 буквы A_3B_3C , D обозначают, соответственно, положение земли весной, летом, осенью и зимой. Если мы, действительно, движемся вокруг солнца, то мы должны наблюдать его последовательно в различных направлениях, в которых видим созвездия зодиака, хотя солнце всегда остается на одном и том же месте.

Легко также объяснить движение солнца к северу и к югу от экватора. Во

время весеннего равноденствия *A* солнце находится на небесном экваторе. Следовательно, с земли оно будет видимо на небе в этом направлении между звездами, которые находятся на экваторе. В каждом месте на земле солнце будет видимо в течение полусуток. Во время летнего солнцестояния *B* солнце находится к северу от экватора. Его лучи падают (в полдень) отвесно на северный тропик (тропик Рака, так как солнце въ* это время находится в этом созвездии). Во всех местах, лежащих внутри северного полярного круга, солнце будет видимо круглые сутки. Внутри Южного полярного круга оно останется невидимым круглые сутки. Во время осеннего равноденствия *C* солнце снова находится на экваторе и везде день и ночь имеют одинаковую продолжительность. Во время зимнего солнцестояния *D* солнце находится к югу от экватора. В полдень оно находится в зените для людей, живущих на южном тропике (Козерога). В северных полярных областях солнце теперь совершенно невидимо, а в южных видимо круглые сутки.

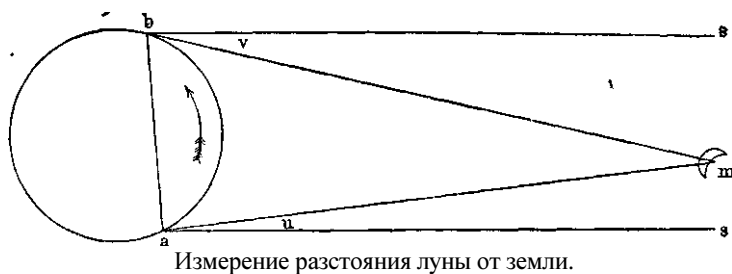
31. Против движения земли [^] вокруг солнца можно было бы возразить, что такое движение должно производить значительные смещения неподвижных звезд неба, что, например, созвездия должны были бы казаться больше, когда земля находится к ним ближе или что Полярная звезда не должна оставаться неизменно на продолжении земной оси, но должна несколько отступать в ту сторону от него, на которой находится солнце. Это возражение, впрочем, приводилось против этой так называемой „Коперниковой системы“ даже еще и в новые времена и, од- *

нако, уже Аристарх дал ему правильное объяснение, сказав, что весь путь земли вокруг солнца так же мал в сравнении с небом неподвижных звезд, как центр шара в сравнении с шаром. Великий современник Аристарха Архимедь (§116) критикует, однако, это выражение, так как точка вообще не стоит ни в каком отношении к шару. Но как метко было образное выражение Аристарха, доказывают напрасные попытки двух тысячелетий измерить расстояние неподвижных звезд.



32. Аристарх определил далее и разстояние луны и солнца. Он применил здесь тот же способ, при помощи которого алес определял разстояние корабля (§ 23). Однако здесь решение представляет большия трудности. Даже луна уже так далека, что базиса (разстояния наблюдателей друг от друга) в несколько километров или в несколько миль недостаточно. При большем же разстоянии наблюдатели не могут видеть друг друга вследствие шарообразности земли и потому не могут визировать один на другого. Кроме того далекия путешествия въ ТО время были связаны с гораздо большими затруднениями, чем теперь. Поэтому Аристархъ, так сказать, соединил обоих наблюдателей в своем собственномъ лице. Он наблюдал сперва на том месте, где находился в какой-нибудь одинъ моментъ, а затем переходилъ, просто вследствие вращения земли, в ту точку пространства, в которой ВО время его наблюдения находилась ИИпротивоположная точка 'земной поверхности. Иными словами Аристарх находится, в ТО время как земля движется в направлении стрелки (рис. 19), сначала в точке a и наблюдает восходящую луну. Но так как он не может визировать на точку b , где он будет через 12 часовъ, ТО он берет звезду в направлении s и измеряетъ, сколько градусов от луны

~Рис. 19



да до этой звезды s , т. е. измеряет угол u . Когда, вследствие вращения земли, онъ приходит в точку b , ТО теперь луна для него заходитъ; он снова меряет разстояние луны от этой звезды, т. е. угол v . Так как звезду s можно считать бесконечно удаленной, ТО две линии as и bs параллельны. Значить, если известна длина базиса ab , ТО задачу легко решить при помощи чертежа. Из a и b проводят параллельныя линии, которыя представляют линии зрения на звезду и-откладывают от этих линий измеренные углы u и v . Таким образом получают место, на котором находится луна, и ея разстояние am можно измерить по сравнению съ базисом ab .

В действительности дело однако не совсем так просто, как могло бы показаться на основании сказаннаго. Прежде всего Аристарх должен был из известной величины земли и положения места a получить разстояние точек a и b . К этому надо прибавить, что луна не стоит в течение этих 12 часов m месте. Но такъ как Аристарх зналъ, насколько перемещается к востоку луна за одне сутки, ТО он мог изменить направление последней из двух линий зрения, к восходящей и заходящей луне, соответственно происшедшему за этот промежуток перемещению луны.

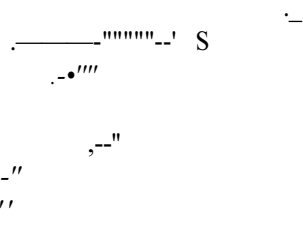
Этим путем Аристарх нашель, что разстояние луны от земли равно 56 радиусам земли. Это довольно близко подходит к действительному.

33. Наконец, Аристарх пытался измерить разстояние солнца от земли. Это

еще труднее, так как солнце настолько далеко, что даже поперечник земли слишком мал для базиса. Аристарх понял однако, что базисом может служить расстояние луны от земли: он представлял себе наблюдателя на луне, который визирует на солнце и на землю, тогда как он сам на земле визирует на солнце и на луну.

Именно, Аристарх производил наблюдение в моменты четвертей луны, т. е. когда освещена как раз половина той стороны луны, которая обращена к земле. Наблюдатель на луне, находящийся в это мгновение по середине этой Стороны, имел бы тогда землю в зените, а солнце в горизонте. Таким образом линии зрения этого наблюдателя на солнце и на землю должны составлять угол в 90° . Измерив же угол между своими двумя линиями зрения (он нашел его равным 87°), Аристарх мог начертить треугольник MJS (рис. 20) и найти из него расстояние солнца. Он нашел, что солнце находится от нас в 19 раз дальше луны.

Этот способ, конечно, в высокой степени остроумен, но он не легко может дать точный результат. Солнце во столько раз (400) дальше луны, что расстоянием луны от солнца, как базисом, можно пользоваться, только предположив, что измерение углов выполнено чрезвычайно точно в самый момент лунной четверти. Но граница между освещенной и неосвещенной частью луны так неправильна, что даже с помощью телескопа нельзя точно определить этот момент, Ошибка может достигать нескольких часовъ.



34. Раз известны расстояния луны и солнца

от земли, то сравнительно легко найти величины. Измерение расстояния солнца от этих небесных телъ. Если поместить небольшой круглый лист на таком расстоянии от глаза, чтобы он как раз покрывал луну, то, очевидно, можно сказать, что поперечник луны во столько раз больше поперечника этого диска, во сколько раз расстояние луны больше расстояния диска. Таким образом величину луны легко вычислить при помощи пропорции. По Аристарху поперечник луны составляет $\frac{19}{60}$ (почти $\frac{1}{3}$) земного поперечника. На самом же деле этот поперечник лишь немного больше $\frac{1}{4}$ поперечника земли. Ошибка этой величины, следовательно, больше его ошибки в расстоянии; однако возможно, что это сводится к простой опiske.

Так как расстояние солнца у Аристарха получилось слишком малое, то, естественно, для величины солнца он также нашел слишком малое число.

35. Аристарх был обвинен Клеаном в безбожии и должен был покинуть Афины. Своим утверждением, что земля движется, он будто бы нарушил покой богини земли Гестии. Когда, спустя 1700 летъ, Николай Коперник снова провозгласил это учение, против него снова были возбуждены религиозныя обвинения и оно снова потребовало жертвъ, хотя на этот раз и не было заглушено. Та истина, что земля есть шаръ, несущийся через пространство, обозначала, следовательно, не малый переверот во всем круге представлений человечества. Невольно возникает вопросъ, не задержала ли участь Аристарха развития этого учения. Это очень мало вероятно, так как в то время вера греков в старых боговъ

не имела уже большой" внутренней силы, но во всяком случае остается неизменным тот факт, что гениальные мысли Аристарха были забыты и постепенно вытеснены поверхностным воззрением, что земля находится в покое, а все остальное движется вокруг нея.

36. В следующем за Аристархом столетии появляется однако астрономъ, наблюдения, инструменты и работы которого превосходили все, что было сделано въ этом направлении раньше. Этот астрономъ былъ Гиппархъ изъ Никеи. Его деятельность падаетъ на 160—125 гг. до Р. Х. Часть этого времени он проводилъ въ родномъ городе, часть на острове Родосе, принадлежавшемъ въ то время Египетскому царству, а часть, можетъ быть, также и въ столице его, Александрии.

Гиппархъ вновь произвелъ определение разстояния луны и нашелъ, что оно въ среднемъ равно 59 радиусамъ земли, но что оно не всегда одинаково. Далее онъ нашелъ, что луна не всегда движется съ одной и той же скоростью, но что она движется скорее всего тогда, когда бываетъ ближе всего къ землѣ. Поперечникъ луны онъ правильно определилъ въ $\frac{3}{4}$ поперечника землит *

Разстояние солнца онъ старался определить по величинѣ земной тени на лунѣ во время лунныхъ затмений. Но такъ какъ эта тень ограничена не резко, то его определение вышло не точнее Аристархова (солнце въ 20 разъ дальше луны).

37. Для того чтобы имѣть возможность точно визировать, Гиппархъ пользовался перекрестными нитями, а для устранения мешающаго бокового свѣта онъ помещалъ послѣднія въ трубку, что такимъ образомъ получало известное внешнее сходство съ нашими нынѣшними телескопами.

Употребительный до того способъ определения положений свѣтилъ при помощи наблюдений ихъ восхода и захода онъ отбросилъ, какъ неточный, и ввелъ измерения при помощи такъ называемыхъ меридианныхъ инструментовъ. Такъ какъ мы не знаемъ въ точности, какими инструментами пользовался Гиппархъ, то на рис. 21 изображенъ болѣе современный меридианный инструментъ¹⁾. Онъ и теперь еще остается весьма важнымъ инструментомъ для наблюдений, подобныхъ темъ, какия производилъ Гиппархъ со своимъ. Труба этого инструмента установлена такъ, что можетъ двигаться вокругъ оси, установленной точно въ направленіи съ востока на западъ. Следовательно; она движется въ плоскости меридиана данного мѣста, т. е. въ вертикальной плоскости, направленной съ севера на югъ.

33. Особенной благодарностью потомство обязано Гиппарху за тщательный каталогъ, содержащій положенія 1022 звездъ. Это есть старейшій и до времени Тихо Браге точнейшій звездный каталогъ. Какъ вследствие своей древности, такъ и по своей точности онъ имѣетъ неоценимое значеніе, такъ какъ даетъ намъ свѣденія о томъ, какия положенія занимали звезды 2000 летъ тому назадъ. Чрезвычайно замѣчательно, что Гиппарха навело на мысль составить каталогъ появленіе вновь вспыхнувшей звезды: онъ желалъ дать возможность въ будущемъ определять, появляются ли вообще новыя звезды. Совершенно такъ же и Тихо Браге побудило предпринять подобную работу именно появленіе новой звезды.

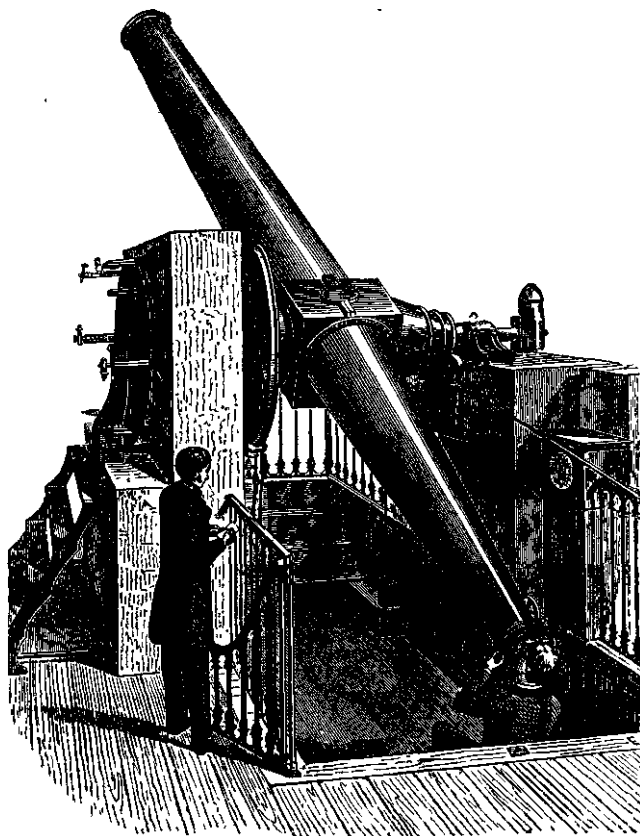
Определивъ при помощи меридианнаго инструмента высоту SfH (рис. 22) звезды въ меридианѣ, нужно только отнять отъ нея высоту AN экватора, для того что-

¹⁾ Первой половины XIX столѣтія. *Прим. пер.*

бы получить расстояние этой звезды от экватора AS' или так называемое склонение. Этим до некоторой степени уже определяется положение звезды. Именно, звезда должна находиться на круге, расстояние которого от полюса или от экватора нам известно. Но если нужно определить место звезды вполне, то в то же время нужно указать, как далеко находится эта звезда к востоку или к западу от какой-нибудь определенной звезды, выбранной за исходную точку.

Со времени Тихо Браге это последнее определение делается при помощи часов. Определяют промежуток времени между прохождением через меридиан той

Рис. 21



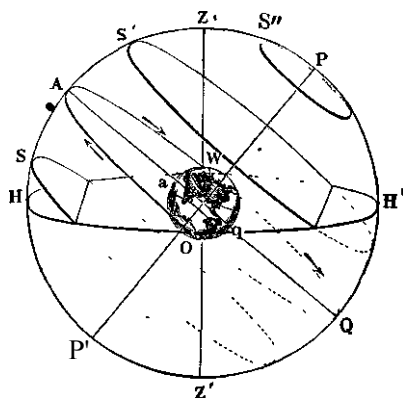
Меридианный инструмент середины XIX века.

звезды, которую выбрали за исходную, и той, место которой определяют. Если последняя проходит через меридиан, например, одним часом позднее, то она находится восточнее первой настолько, насколько небо поворачивается в один час, т. е. на $\frac{1}{24}$ часть 360° или на 15° . Безразлично, брать ли эти 15° на кругах S , S' , S'' или на экваторе. Обыкновенно этот „часовой угол“ представляют себе на экваторе. Итак, место звезды определяется ее часовым углом и ее склонением. Но положения звезд в каталогах определяются не переменным часовым углом, а обыкновенно ее угловым расстоянием от некоторой постоянной точки, точки Овна или точки весеннего равноденствия, отсчитываемым по направлению к востоку. Это угловое расстояние носит название прямого восхождения.

Однако, Гиппарх не мог определять часовой угол таким способом, так как определение времени в ТО время производилось слишком неточно. Он должен был поэтсцу мерять расстояние звезды непосредственно угловым измерительным прибором (секстаномъ). Какого рода были его инструменты, мы не знаемъ, НО его каталог позволяет думать, что они давали возможность делать очень точныя измерения.

39. Положения луны и планет Гиппарх мог всегда определять таким же образомъ. Высота светила в меридиане давала ему склонение, а измерение углового расстояния отъ какой-нибудь известной звезды давало прямое восхождение.

Таким же образом можно было определять и полуденную высоту солнца. Но так как нельзя видеть солнце одновременно с неподвижными звездами, ТО расстояние



от какой-нибудь неподвижной звезды нельзя было определять непосредственно. Гиппарх поэтому воспользовался, как связующим звеномъ, луною. Перед заходом солнца он мерял расстояние солнца от луны, а после захода солнца расстояние луны от какой-нибудь звезды. Если, например, первое расстояние составляло 35° , а последнее 17° , ТО расстояние солнца от звезды было бы 52° , еслибы оба измерения производились в одном направлении и еслибы луна за этот промежуток времени не имела собственного движения. Но так как последнее имело место при всяких обстоятель-

ствахъ, ТО Гиппарху приходилось исправлять результаты' такого измерения и он делал это исправление с такою трчностью, что открыл неравномерность движения солнца въ течение года. Это обстоятельство показало однако ТО, что солнце нельзя считать совершенно правильным делителем времени. Разсмотрим это несколько ближе.

40. Вращение звездного неба (т. е. земли) совершенно равномерно. Время такого оборота составляет звездныя сутки. Астрономические часы обыкновенно регулируются такъ, что показываютъ звездное время.

Так как солнце каждый день передвигается несколько к востоку, ТО промежутки времени между двумя последовательными прохожденьями солнца черезъ меридиан несколько длиннее (приблизительно на 4 минуты) звездных сутокъ; этотъ промежуток времени называется истинными солнечными сутками. Но так какъ солнце, как открыл еще Гиппархъ, движется по эклипике не всегда с одинаковой быстротою, ТО уже по одному этому длина солнечных суток с течениемъ года изменяется. К этому присоединяется еще ТО, что путь солнца по эклипике не всегда направлен как раз на востокъ. Во время равноденствий путь солнца довольно сильно наклонен к экватору, солнце сдвигается на востокъ. меньше и солнечныя сутки становятся короче. Напротивъ, во время солнцестояний солнце движется почти параллельно экватору. Теперь солнце в своем движении на восток сме-

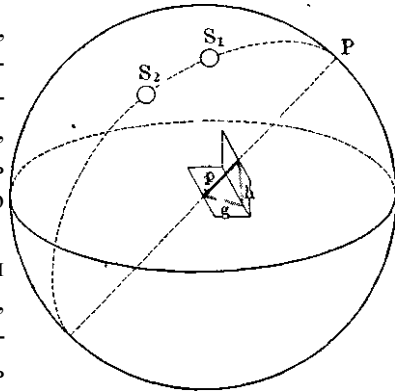
щается больше соответственно тому, насколько один градус солнечного пути больше градуса той параллели, по которой в этот момент идет солнце.

Однако, в обыденной жизни сутки различной длины неудобны, так как часы должны иметь равномерный ход. Поэтому установили еще третий род суток—средняя солнечная сутки. Если представить себе солнце, которое равномерно движется по экватору, делая один оборот в годъ, то средняя солнечная сутки будут равны времени между двумя последовательными прохожденьями через меридиан этого солнца. Наши часы идут по такому воображаемому солнцу. Следовательно, они не всегда показывают 12, когда истинное солнце находится в меридиане (на юге). Календари содержат табличку, которая указывает для различных времен года то время по часамъ, когда солнце стоит как раз на юге (отступление от 12 часов носит название уравнения времени). Гражданский полдень вследствие этого обыкновенно бывает не совсем по середине между восходом и заходом солнца. Взгляд в календарь покажетъ, что дополуночное время и послеполуночное имеют различную продолжительность. Перед новым годомъ, например, короче послеполуночное время, а после нового года дополуночное время.

41. Древние пользовались солнечными часами (по гречески гномонъ), на которых по длине тени стержня можно видеть, который часъ. Повидимому, вначале

Рис. 23 для получения

тени пользовались вертикальным стержнемъ. Некоторые предполагаютъ, что для этой цели служили и египетские обелиски. Во многих местах пользовались вероятно длиною тени, в другихъ, наоборотъ, ее направлениемъ. Но и в том и в другомъ случае солнечные часы, правильные в одно время года, не будут верны в другое.



Для того, чтобы солнечные часы были верны для всякого времени года, стержень, отбрасывающий тень, должен быть направлен к северному полюсу неба. Тогда въ любое время (например, в 2 часа пополудни) солнце будет находиться на соответственном круге склонений PSi S_2 (рис. 23) и стержень будет составлять часть диаметра этого круга. Следовательно, тень стержня p будет падать в плоскости названного круга и будет находиться тамъ, где плоскость S_2 S_1 Pp пересекает плоскость солнечных часовъ, безразлично, будет ли последняя находиться в горизонтальном (g), вертикальном (b) или в какомъ-нибудь ином положении. Тень будет получаться всегда на одном и том же месте, будет ли находиться солнце в Si или в S_2 , значить, во всякое время года, как скоро солнце будет стоять на круге склонений, соответствующемъ данному времени (2 часа пополуночи).

42. Далее Гиппарх определил с необыкновенной точностью длину года и это повело его к дальнейшим открытиямъ.

До Гиппарха для определения длины года отсчитывали число дней, начиная с того дня, в который солнце летом достигает наибольшей высоты, и до того дня,

когда 'оно снова приходит в это положение. Но та часть эклиптики, на которой солнце бывает во время' солнцегояний, приблизительно параллельна экватору. Вследствие этого солнце около этого времени в течение нескольких дней подряд бывает в полдень почти на одной и той же высоте. Разница была так незаметна для инструментов того времени, что из наблюдений одного только года нельзя было даже решить, в какой именно день солнце достигает самой северной точки своего пути. Еще труднее было определить тот час, в который солнце занимает это положение. Если народы древности, несмотря на это, знали длину года довольно хорошо, то это объясняется тем, что у них были многолетние наблюдения. Если за один год можно ошибиться на несколько дней, то эта ошибка не будет очень велика, когда распределится на более длинный ряд годов.

Гиппарх понял, что время равноденствий значительно удобнее для определения длины года. Во время весеннего равноденствия, например, солнце проходит то место, где эклиптика пересекает экватор, и за сутки очень заметно перемещается по направлению к северу. Если 21 марта солнце находится в полдень на $7'$ к югу от экватора, то на следующий день в полдень оно будет на $17'$ к северу. Эту разницу в $24'$ легко заметить и измерить при помощи 'меридианного инструмента'. Это наблюдение не только указывает, что равноденствие пришлось на 21, а не на 22 марта, но и то, что солнце прошло экватор в 7 часов вечера 21 марта, так как оно смещается к северу приблизительно на Γ в час.

,

В ближайший и следующие годы прохождение солнца через точку весеннего равноденствия можно определить с той же точностью и, чем больше будет число наблюдений, тем ничтожнее будет ошибка. Таким образом Гиппарх нашёл, что длина года равна $365^d 5^h 55^m$ — только на 6 минут больше действительного

43. Но Гиппарх не удовольствовался определением того момента, в который солнце пересекает экватор; он постарался определить также положение между неподвижными звездами того места, где это происходит. Вероятно, он на-

Рис. 24 шёл какую-нибудь неточность или из-

менчивость этой точки пересечения, так

как при этой работе он восполь-

зовался также определениями предше-

вавших астрономов; эти определения

были, правда, менее точны, но за то их

большая древность, могла дать возмож-

ность судить о ходе явления за более долгое время.

При этом и ему удалось сделать за-

мечательное открытие, а именно, что эк-

ватор пересекает эклиптику каждый год не в той точке, где это происходило в предыдущем году, а в несколько ином месте. Если на рис. 24 есть эклиптика, а AE экватор, то при своём перемещении от E к A солнце в одном году пересекает экватор, например, в точке O . В следующем году экватор немного подойдёт на встречу солнцу и солнце пересечёт экватор в точке 1, в следующем году в точке 2 и т. д. Таким образом точка весеннего равноденствия постоянно смещается по эклиптике в направлении к югозападу. Это смещение очень невелико,



так как точке весеннего равноденствия нужно 26000 лет для совершения полного оборота по эклиптике. Тем больше заслуга Гиппарха, открывшего это медленное, но важное явление, называемое предварением равноденствий или прецессией.

Тропический год, определенный Гиппархом, представляет собою, следовательно, время, в течение которого солнце совершает как раз один оборот от точки 0-до точки 1. Для того чтобы дойти снова до точки 0, т. е. до первоначального положения относительно звезд, солнцу нужно только немного больше времени. Для этого периода, звездного года, Гиппарх нашел $365^d 6^h 14^m$ (больше истинного только на 4 минуты).

44. Гиппарх занимался исключительно наблюдениями и измерениями. Он не пускался в теоретические объяснения и Птолемей (§ 55) говорит о нем, что он не хотел дать теории планетных движений, чтобы не омрачить своей славы. Во всяком случае это указывает на то, что Гиппарх хорошо сознавал, какая важная роль принадлежит фактам. Но после открытия прецессии объяснения Аристарха относительно движения земли потребовали некоторых изменений.

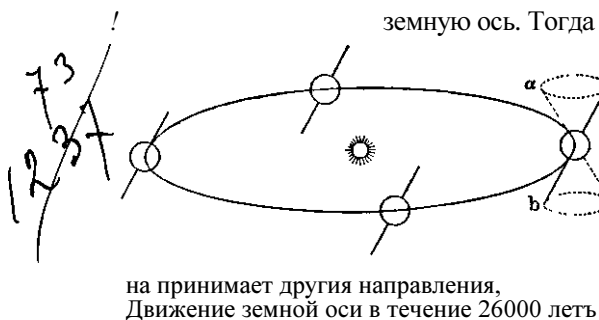
Так как эклиптика не меняется, то плоскость земного пути должна оставаться неизменной¹⁾. На рис. 25 горизонтальный эллипс представляет путь земли,

а ab и параллельная ей линии—

Рис. 25

земную ось. Тогда как, согласно

взгляду Аристарха, земная ось должна быть всегда одинаково наклонена к пути земли, мы видим теперь, что земная ось не остается всегда параллельной самой себе, но что с течением тысячелетий



на принимает другие направления,
Движение земной оси в течение 26000 летъ

так что полюс неба описываетъ

круг около полюса эклиптики. Мы можем наблюдать это явление в малых размерах на волчке, который вращается вокруг своей оси, описывающей в то же время конус.

Если теперь земная ось имеет направление ab , то спустя 13000 лет она будет иметь направление af . Тогда во время лета солнце будет на том месте зодиака, где теперь оно бывает зимою. Наклон оси также не остается неизменным, так как ось не движется точно по кругу. В настоящее время наклон оси убывает на $50''$ в столетие.

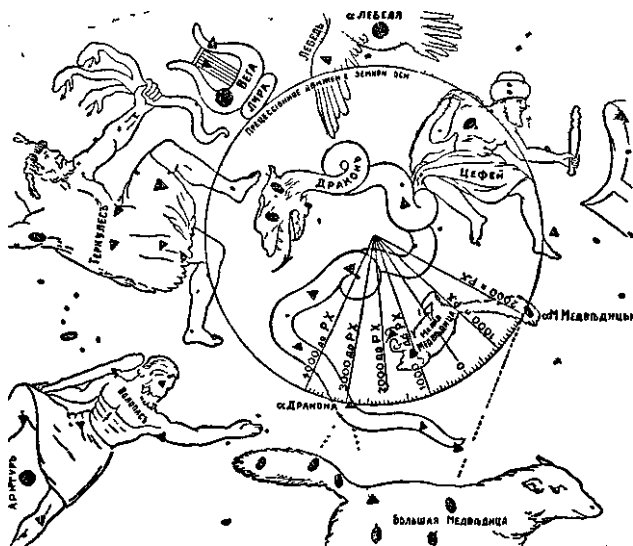
Таким образом земная ось с течением тысячелетий последовательно направляется на все новые и новые звезды, и полюс мира вследствие этого описывает между звездами круг (рис. 26). Нынешняя Полярная звезда с течением времени

*) Вследствие этого Гиппарх относил положение звезды не к экватору, как это обыкновенно делалось раньше, а к эклиптике. Так как положение экватора изменяется, то изменяется и положение звезды относительно него, т. е. ее склонение и прямое восхождение. Расстояние звезды от эклиптики называется ее широтой, расстояние точки, в которой круг широты пересекается с эклиптикою, от точки весеннего равноденствия называется долготой. Первая неизменна, последняя меняется, но по очень простому закону, равномерно.

будет заменена другими звездами, теперь еще далекими от полюса. Спустя 10000 лет полярной звездой будет Вега.

45. Из древних греков Анаксимандр (611—545 гг. до Р. Х.), наследник аласа в качестве вождя Ионийской школы, первый пытался чертить ландкарты на медных досках. А если эту работу выполнять сколько-нибудь точно и притом для довольно значительной части земного шара, то без астрономических наблюдений обойтись нельзя. Некоторые сведения в этом отношении, например, то, что Полярная звезда стоит на небе тем выше, чем дальше к северу, были известны

Рис 26



Перемещение северного полюса.

еще до Гиппарха. Точно так же со времени Аристарха во всяком случае понимали, что два места, удаленные друг от друга в направлении с востока на запад, имеют полдень не в одно и то же время. Но Гиппарх, повидимому, первый определял положение места на земле при помощи астрономических наблюдений.

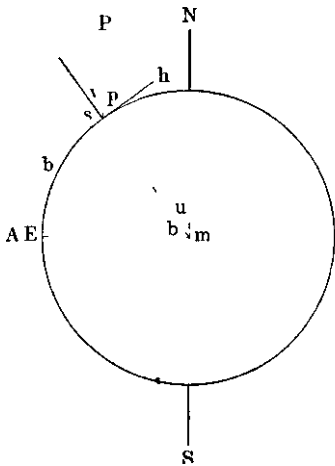
Само собою разумеется, Гиппарх ясно сознавал, что известные в его время страны занимали только небольшую часть всей земной поверхности. Определяя окружность земли в 275 000 стадий, он оценивает наибольшее протяжение известных ему обитаемых стран в 70 000, а ширину от экватора до ула в 46 200 стадий. Введенный им способ обозначения положения места состоял в том, что он давал его расстояние от экватора и расстояние от известного пункта к востоку или западу. Первое расстояние он называл широтою, последнее долготою. Известная в то время часть земной поверхности имела наибольшее протяжение в направлении с востока на запад, по долготу.

46. Определение географической широты какого-нибудь места состоит в измерении в этом месте высоты полюса над горизонтом; как легко видеть, последняя в точности равна угловому расстоянию этого места от экватора.

На рис. 27 круг представляет землю, NS ее ось и AEQ экваторъ. Для места s линия sP есть направление полюса мира, sh горизонт и mS вертикальная линия. Эта последняя линия образует равные углы с параллельными прямыми sP и mN . Поэтому углы u и p , а следовательно и углы p (высота полюса) и h (широта) равны между собой.

Если бы Полярная звезда находилась как раз в самом полюсе, то в путешествии достаточно было бы измерять только ее высоту, — это давало бы в точности широту места. Морякъ, для которого определение широты имеет огромную

Рис 27



полюса до
Равенство высоты полюса и географической широты

важность, часто пользуется для этого также солнцемъ. Последнее около полудня движется параллельно горизонту. Поэтому нет необходимости измерять высоту солнца именно в тот момент, когда оно находится как раз на юге. На море, где ничем нельзя отметить полуденной линии, было бы трудно определить этот момент. Если известна высота солнца, то из морского календаря берут расстояние солнца от полюса для соответственного дня и складывают эти два угла. Высота полюса в данном месте получится, если найденную сумму отнять от 180° (рис. 2).

47 Но особенно трудным для древних было определение долготы. Места, лежащая в направлении к северу или к югу друг от друга, имеют полдень, очевидно, в одно время. Линия от полюса, проходящая через эти места,

называется полуденной линией или меридианомъ.

Напротив того, на различных меридианах полдень бывает в различное время и эта разница во времени зависит от расстояния между меридианами. Так как земля совершает полный оборот в 24 часа, то в час она поворачивается на 15° , в 4 минуты на 1° . На каждый градус отдаления меридиана к западу часы отстают, следовательно, на 4 минуты.

Если известна разница времен двух мест, то можно вычислить, насколько градусов одно лежит западнее другого. Поэтому с точными часами (хронометръ), показывающими правильное время в данном месте, можно ехать в другое место и из разницы времен этих двух мест вычислить разность их долгот. Но в древности не было точных часовъ, не было, конечно, и телеграфовъ, при помощи которых теперь можно в одно мгновение передать в любое место, который часъ теперь в другом месте.

У Гиппарха явилась остроумная мысль воспользоваться, в виде мировых часовъ, луною во время лунного затмения. В Риме и в Александрии начало затмения происходит в одно и то же время. Если определить при помощи астрономических наблюдений это время в обоих местах, то оказывается, что затмение в Александрии, например, наблюдалось в 10 часовъ, а в Риме в 8 час. 52 мин. Отсюда следует, что Рим лежит на 17° западнее Александрии.

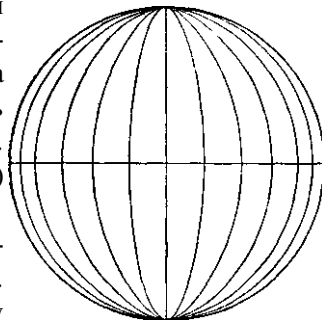
В новейшее время, согласно предложению Людовика XIII в 1634 году,

меридианы считают от Ферро, самого южного из Канарских островов. На морских картах исходным пунктом является обыкновенно Гриничская¹⁾ обсерватория и морские хронометры идут по Гриничскому времени. Французы считают меридианы от Парижа²⁾.

В большинстве культурных государств в настоящее время по международному соглашению счет времени ведут по так называемому универсальному времени. Все места, лежащая между двумя меридианами, удаленными один от другого на 15° , имеют одно и то же время, именно время среднего меридиана соответствующего пояса (Standard time). Поясь, в котором лежать Рис. 28

Германия, Дания, Швеция, Австрия и т. д., простирается от $7^\circ 30'$ до $22^\circ 30'$ восточной долготы (от Гринича). Время среднего, следовательно, 15° -ого меридиана отличается от Гриничского времени (от $7^\circ 30'$ к востоку до $7^\circ 30'$ к западу от Гринича) на 1 час. Этот счет времени (средне-европейское время) был введен в Германии 1 апреля 1893 года.

Линию, идущую от Берингова пролива через Тихий океан, выбрали за линию даты месяца. К западу от этой линии число месяца на единицу больше, чем к востоку от нея.



48 Гиппарху принадлежат также большая Земной шар с 24 меридианами. заслуги в решении трудной задачи черчения карт, когда приходится иметь дело с большой частью земной поверхности.

Менее значительная часть земной поверхности можно принимать за плоскую и, следовательно, их можно изображать на плоскости. Но более значительную часть земной поверхности нельзя нарисовать на плоскости без особых условий. Если бы даже часть шаровой поверхности была тонка- и гибка, как бумага, то и тогда ее нельзя было бы разложить на плоскости. Она даст либо складки по середине, либо разрывы на краях.

Если рассматривать (рис. 29) северное полушарие неба $aePq$ не из центра M , а из южного полюса неба S и вообразить себе плоскость, касательную к небесной сфере в северном полюсе P , то прямая линия от S к звезде a пересечет касательную плоскость в точке a , в которой, следовательно, и должна быть изображена звезда. И если глаз находится как раз в точке S , то впечатление у него будет одинаково, будет ли звезда находиться в точке a или в точке a .

Этот способ проекции, которым пользовался Гиппарх и который изобретень, вероятно, еще более древними математиками, есть так называемая стереографическая проекция. Она, конечно, имеет свои недостатки, как вообще всякий способ решения невозможной самой по себе задачи—нарисовать шаровую поверхность на плоскости. Например, $KpyrbAEQ$ получает в ней вдвое больший диаметр, чем aeq , тогда как те части, которые лежат вблизи P , увеличиваются незначительно.

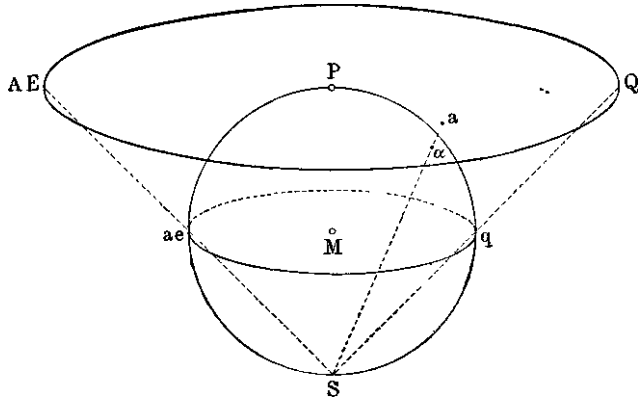
Этот способ особенно удобен, когда приходится изображать большую часть

¹⁾ $17^\circ 39'46''$ к востоку от Ферро.

²⁾ $20^\circ 30'$ к востоку от Ферро.

шара. Эта часть может даже превышать половину шара, но конечно в этом случае увеличение на краях будет еще больше (ср. карту к § 2). Этим способом проекции пользуются также для изображения восточного и западного (или северного и южного) полушарий земли.

Рис. 29

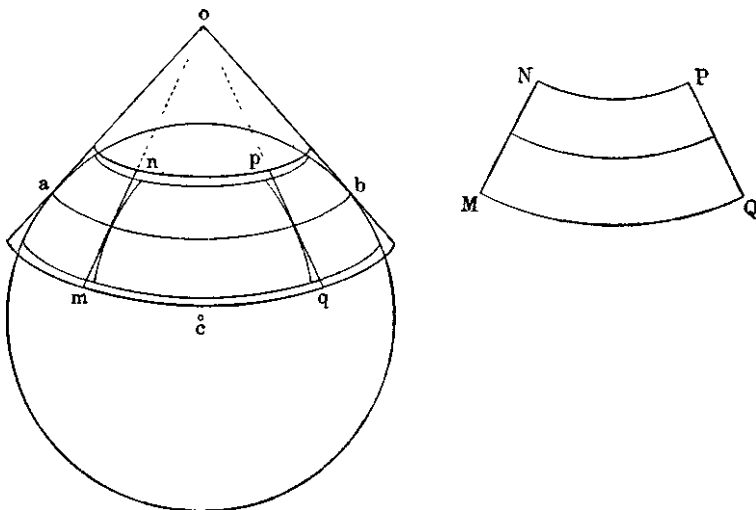


Стереографическая проекция шаровой поверхности.

49 Другой способ проекции, так называемая коническая проекция, был введен Птолемеємъ. Но он годится только для изображения 'небольших частей земной поверхности.

Пусть a (рис. 30) будет параллельный кругъ, проходящий через средину той области, которую нужно изобразить. Вообразим себе конусъ, который имел бы

Рис. 30



Коническая проекция.

вершину на земной оси и касался бы шара по кругу ab - Затем вообразим себе точки шаровой поверхности перенесенными на коническую поверхность по прямымъ

линии, идущим от центра c ; тогда глаз в c получит от этой зоны конуса то же впечатление, что и от шаровой зоны. Затем разрежем конус вдоль m и n и развернем его на плоскости, что всегда возможно выполнить. Теперь мы получаем плоскую карту, на которой меридианы изображены в виде прямых линий, сходящихся в одной точке на севере, а параллельные круги в виде дуг кругов с центрами в этой точке. Области около a b сохраняют свою естественную величину, а области к северу и к югу от a b получаются несколько увеличенными.

50. Последний из названных способов был значительно улучшен Гергардом Кремером, прозванным Меркатором (род. в 1512 г. во Фландрии, ум. в 1594 г. в Дуисбурге). На той части земной поверхности, которую нужно изобразить, выбираются два параллельных круга ab и cd (рис. 31); через них проводится ко-

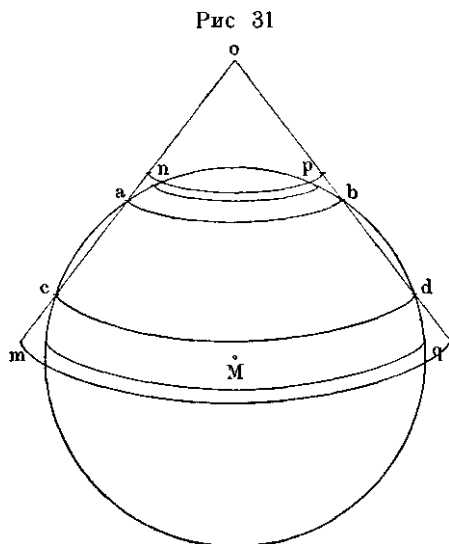


Рис 31
Улучшенная коническая проекция.

нусъ. Та часть земной поверхности, которая лежит между этими двумя кругами, будет лежать вне конуса, остальная часть внутри его. Поэтому первая часть при переносе на коническую поверхность уменьшится, а последняя увеличится, тогда как оба параллельные круга сохранят свою естественную величину.

Если затем мы разрежем и развернем карту на плоскости, то меридианы будут на ней прямыми линиями, а круги широты — дугами окружностей.

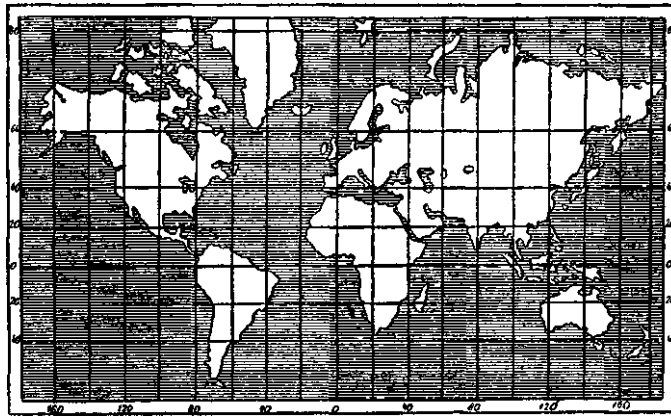
В XVIII столетии в этот способ ввели изменение в том отношении, что на параллельных кругах наносили действительные длины; отъ этого самые верхние и самые нижние параллельные

круги делались короче, чем при первоначальном способе. Меридианы теперь уже не оставались прямыми линиями, а изгибались, сходясь вверху и внизу ближе, чем должны были бы сходиться прямые линии.

51. Из многих приемовъ, вошедших в употребление сверх указанных, нужно особенно подчеркнуть Меркаторскую проекцию, которой мы обязаны также Г. Кремеру. На экваторе градус долготы очевидно имеет ту же длину, как и градус широты. От экватора к полюсу градус широты остается одним и тем же, а градус долготы становится короче. Разность долгот Христиании и Петербурга составляет, например, 20° , расстояние же между ними только 150 миль, тогда какъ на экваторе 20° составляют 300 миль. Если начертить экватор в виде прямой линии и в виде прямых же линий начертить меридианы перпендикулярно к экватору, то расстояние между Христианией и Петербургом будет представлено линией такой же длины, как линия одинакового числа градусов долготы на экваторе. Таким образом расстояние это было бы вдвое больше, чем оно должно быть, и страны в этих частях карты должны были бы совершенно искажаться, если не увеличить градусы широты в том же отношении, в каком увеличились градусы

долготы. Это и делается Меркаторской проекцией, вследствие чего формы передаются в ней правильно. Само собою разумеется, что отдельные части земной поверхности в этой проекции выходят тем больше, чем дальше они от экватора. Но так как формы в каждом отдельном месте остаются правильными и так как линии (берега, небесные направления) всюду идут правильно, то этот способ проекции очень удобен именно для морских карт, так как для них весьма важно, чтобы каждый предмет, например, огонь маяка, был представлен в том направлении, в каком он действительно находится. Равным образом эта проекция

Рис. 32



Поверхность земли в Меркаторской проекции

очень удобна для изображения всей поверхности земли (за исключением полярных областей). Для сравнения размеров различных областей (Гренландия и Африка) такая карта конечно совершенно непригодна.

52. После Гиппарха астрономия стала падать, хотя временами и появлялись еще отдельные значительные ученые.

На том же Родосе работал в I столетии до Р. Х. астроном Посидоний, род. в Апмее (Сирия) около 103 г. до Р. Х. Некоторое время он, повидимому, жил в Риме и был в дружбе с Помпеем, которого он принимал раньше на Родосе, а также с Цицероном, который излагает астрономические сведения, вероятно, на основании того, что он знал от Посидония.

Посидоний произвел несколько тонких измерений и должен был обладать хорошими инструментами (может быть, инструментами Гиппарха). Его определение окружности земли по измерениям меридианной высоты одной звезды на Родосе и в Александрии безупречно (180000 стадий). Для расстояния луны он очень правильно нашел 2000000 стадий (§ 32), а для расстояния солнца 12—13 миллионов миль. Действительное расстояние последнего составляет около 20 миллионов миль. Но в сравнении с более ранними измерениями это превосходно. К сожалению, мы не знаем, каким путем Посидоний пришел к этому результату. Не исключена таким образом возможность, что точность полученной им величины была случайная или что число его было изменено вследствие ошибки при списывании,

Достоверно то, что Посидонию было известно, как незначительна земля в сравнении с солнцем. Он думал, что с солнца она должна казаться точкой, а с неподвижных звезд должна быть вовсе невидима, будь она даже самосветящаяся.

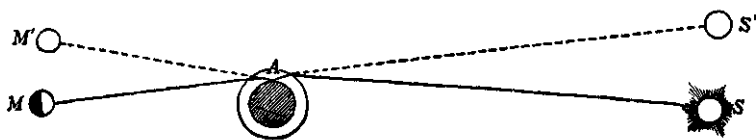
Странное впечатление, на ряду с этими правильными сведениями, производить мнение Посидония, что земля, хотя и представляет собою шарь, но неподвижна. Она покоится в центре, а все остальное движется. Это мнение представляет собою шаг назад. Но мы находим у него также и несколько новых наблюдений, например, что приливы и отливы производятся луною, потому что они бывают сильнее всего во время полнолуний и новолуний. Так как последнее наблюдение невозможно произвести на берегах Средиземного моря, то об этом явлении Посидоний должен был узнать где-то в другом месте.

Равным образом Посидоний заметил, что солнце и луна вблизи горизонта кажутся больше, тогда как угловое измерение показывает, что их величина не меняется. Это относится, впрочем, также к созвездиям, например, к Большой Медведице, которая кажется гораздо меньше, когда стоит высоко. Причина этого лежит в том, что небесный свод кажется нам не правильным полушаром, а сплюснутым, так что часть, находящаяся отвесно над нами, ближе к нам, чем части у горизонта; а из двух предметов, которые видны нам под одним и тем же углом, мы считаем большим тот, который почему-либо считаем более далеким.

53. В I столетии по Р. Х. жил Клеомедь, передавший большую часть того, что нам известно о Посидонии. Сам он также пытался объяснить одно замечательное явление.

Клеомед пишет, что он сначала не хотел верить, чтобы можно было видеть на небе затмившуюся полную луну раньше захода солнца. Клеомед знал, конечно, что лунное затмение (рис. 33) наступает, когда солнце, земля и луна лежат на одной прямой линии. Между тем, если на небе одновременно видны и

Рис. 33



Лунное затмение вблизи горизонта.

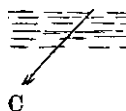
солнце и луна, то соединяющая их прямая должна проходить выше нас и земля не может находиться по середине между ними.

Убедившись, однако, в том, что такое явление действительно наблюдалось, Клеомед стал искать для него объяснения. „Не плавало ли над землею какое-нибудь высокое облако, бросавшее свою тень на луну?“ Это было невероятно, так как согласно Посидонию воздух имеет только 9 миль высоты. Или „не было ли это не настоящее солнце, а какое-то ложное?“ Или наконец „не идут ли, может быть, лучи света в более глубоких слоях воздуха не по прямой линии?“

Может быть, это обстоятельство и заставило Клеомеда особенно заняться изу-

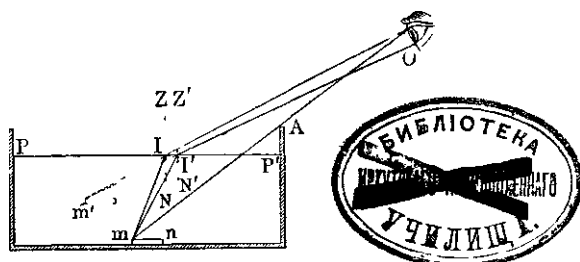
чением света, о котором он много писалъ. Такъ, он говоритъ, что световой лучъ, входя в более плотную среду, напримеръ, в воду, по косому направлению, уклоняется в этой среде ближе к отвесному направлению, тогда как при обратном переходе он уклоняется наружу. Лучъ, идущий отъ A (рис. 34), в воде идет по направлению к C , и тем же путем луч идет из C в A . Поэтому можно, продолжает Клеомедъ, стать такъ, что глаз (рис. 35) не может видеть монету въ кубке, так как она закрыта стенкой кубка; но если налить в кубок воды, она будет видна. Именно, свет идет тогда указанным на рисунке путемъ. Глазъ

Рис. 34



Преломление светового луча в воде.

Рис. 35



Преломление света при переходе изъ воды в воздухъ.

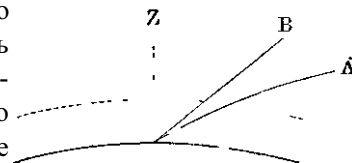
получает впечатление только о том направлении, по которому он получает светъ, и замечает монету в точке m' .

Таким же образомъ, добавляет онъ, можно вследствие преломления лучей видеть солнце, уже зашедшее за горизонт (рис. 33).

54. Однако, эти соображения были основательно разработаны только Клавдием Птолемеемъ, родившимся в 70 или 77 г. по Р. Х. в Птолемаиде (Египетъ) и умершим в 147 г. в Александрии, где он производил свои наблюдения и писал свои работы.

Птолемей изучал законы распространения световых лучей особенно тщательно. Здесь нужно только отметить, что он зналъ, что воздухъ, который по его мнению распространялся до луны, должен оказывать на световые лучи такое же действие, как вода. Так же, как вертикальная палка не обнаруживает в воде никакого „преломления“, и находящаяся в зените звезда должна казаться тамъ, где она действительно находится. Но все друия звезды должны казаться выше, чем оне есть на самом деле. Действительно, если путь светового луча таковъ, как указывает линия, идущая отъ A (рис. 36), то глаз должен получать впечатление, будто звезда находится в направлении B . Это отклонение должно быть тем больше, чем ближе звезда к горизонту; Птолемей определял величину этого отклонения при помощи измерений полярного расстояния незаходящих звездъ, когда оне достигают на небе наибольшей и наименьшей высоты. В первом случае оне удаляются от полюса больше, чем во втором.

Рис. 36



Преломление лучей в атмосфере.

Птолемей составил также таблицы, при помощи которых позднее он могъ поправлять свои наблюдения звездъ. Для звезды

на высоте 90° над горизонтом отклонение составляет О

80°						$1\frac{1}{2}'$
"	"	"	"	"	"	"
30°	"	"	"	"	"	$1\frac{2}{3}'$
0°	"	"	"	"	"	$35'$

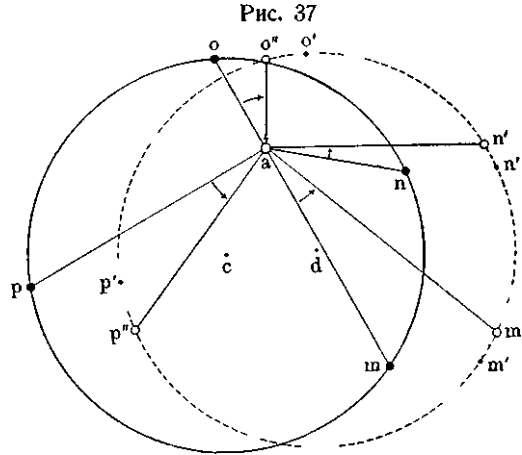
Отсюда видно, что это отклонение только близ горизонта настолько велико, что его нужно было принимать в расчет при наблюдениях древнихъ. Равнымъ образом отсюда видно, что солнце, поперечник которого равен приблизительно $30'$, может совершенно зайти и все-таки быть видимым над горизонтомъ. Такъ как нижний край солнца при этом подымается несколько больше, чем верхний, то солнце при восходе и заходе кажется несколько сплюснутымъ.

55. Птолемей был не только точнымъ, вдумчивым наблюдателем и искусным математикомъ, он был также и писателемъ. Его главный трудъ, получивший позднее арабское название Альмагестъ, в свое время был превосходным руководством по астрономии. Нужно однако пожалеть, что этот труд вытеснил более ранния оригинальныя работы, например, работы Гиппарха. Удивляться этому однако нельзя. До изобретения книгопечатания издание книг не было так доступно, какъ впоследствии, и потому каждый естественно старался копировать, главным образомъ, новейшия и лучшия сочинения, какия были. Так как Альмагест содержит многое из того, что открыли предшествующие астрономы, например, превосходный звездный каталог Гиппарха (впрочем с теми поправками, которыя по мнению Птолемея нужно было прибавить за прецессию со времени Гиппарха), то иногда, особенно прежде, Птолемея ошибочно считали автором всего содержания его книги; с другой же стороны, особенно в более позднее время, его называли нечестнымъ переписчикомъ. Последнее сиюль же несправедливо, насколько первое неверно. Но из сказанного понятно, почему мировоззрение, к которому склонялся лично Птолемей, господствовало почти безгранично более полуторы тысячи летъ, тогда какъ гениальныя мысли Аристарха о вращении земли вокруг оси и ея движении около солнца пришли в совершенное забвение.

Птолемей был чрезвычайно осторожный ученый, который придерживался просто того, что он мог видеть. Он не раз указывал на возможность того, что движется именно земля. Но по внешности вращается звездное небо и потому онъ принимаетъ, что вращается именно оно. Солнце, луна и планеты имеют особыя движения и он описываетъ, как они должны двигаться, чтобы их движение казалось с неподвижной земли именно такимъ, каким мы его видим на самом деле.

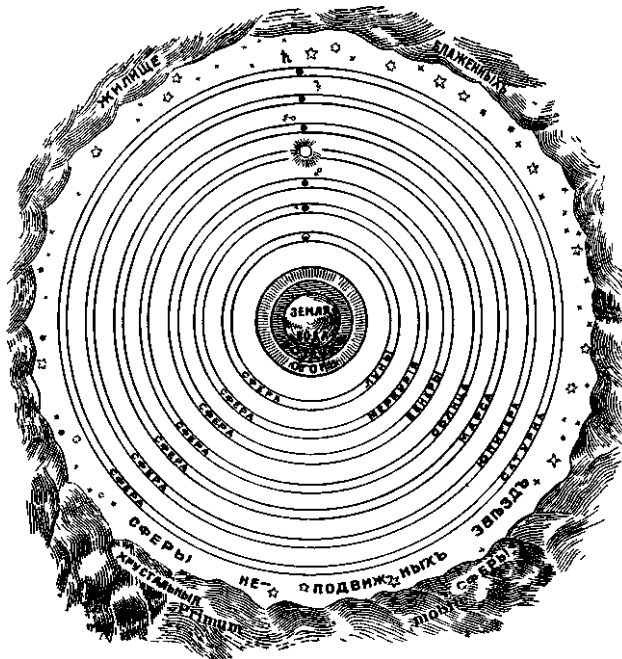
56. Уже Гиппарх нашель, что расстояние луны от земли в разныя времена различно; отсюда он заключилъ, что луна движется по кругу, центр котораго не совпадает с центром земли. Птолемей нашель, что этого допущения недостаточно для объяснения неправильностей лунного движения. Вследствие этого он принимаетъ, что центр лунной орбиты сам движется около центра земли. Таким образом луна движется по кругу, самый центр котораго описываетъ опять-таки кругъ. Подобным же образом Птолемей объяснял движение планетъ, но и это не было совершенной новостью. Задолго до Птолемея знаменитый математик Эвдоксъ из Книда (407—354 гг. до Р. Х.) предлагал это объяснение для прямого и обратнаго

движений и для стояний планетъ. Пусть точка y (рис. 37) представляет землю, которую мы предполагаем неподвижной. Пусть центр круга, который должен представлять орбиту Марса, движется в течение месяца от c до d . Пусть пунктирный Ифуг представляет орбиту Марса в конце этого месяца. Если теперь Марс находится в точке in , то через месяц вследствие движения всего круга эта точка переместится в W . Но за месяц и сам Марс передвинется из m' в m'' . Таким образом линия зрения на Марс за этот месяц перейдет из at в yt'' (в направлении стрелки). Если Марс находится в точке n , то таким же образом эта линия зрения в течение месяца перейдет из an в an'' . Если, напротив того, Марс находится в o , то смещение круга переместит эту точку в o' , а Марс за это время перейдет из o' в o'' . Значит линия зрения с земли на Марс отойдет обратным движениемъ



Объяснение планетных движений при помощи теоры эпицикловъ

Рис. 38



Птолемея система мира.

от ao к ao'' . При дѣльнейшемъ движении по своему пути Марс снова пойдетъ прямымъ движениемъ отъ ap в ap'' . А если объясняются прямое и обратное дви-

жения Марса, ТО, само собою разумеется, объясняются и его стояния. Именно, они происходят в ТО время, когда одно движение переходит в другое. Птолемей развил это объяснение до конца. При этом он принял, что эти тела расположены в следующем порядке, считая от земли: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн, неподвижные звезды. В одной более древней египетской системе, в противность Птолемею, было принято совершенно правильно, что Венера подходит к земле ближе Меркурия. Птолемей сам говорит о своей теории, что эти движения труднее понять, чем вычислить. Тем не менее эта теория является для него единственным объяснением небесных движений, чем-то таким, в чем сомневаться было бы преступлением. Когда впоследствии не удавалось подогнать все движения под эту теорию, ее расширяли и принимали, что по кругу движется не только центр той окружности, по которой движется планета, но что центр этого круга сам описывает круг, центр которого в свою очередь движется опять-таки по кругу, и т. д.

А р а б ы

57. После Птолемея в Александрии и в других греческих городах не было больше крупных астрономов; были только отдельные естествоиспытатели, о которых речь будет ниже. В конце концов наука утратила ту твердую почву, на которой она стояла много лет в Александрии. Это случилось в VII веке, когда магометане, в первые 150 лет после Магомета выступавшие главным образом в роли завоевателей, вошли в город и уничтожили последние остатки двух громадных библиотек. Как известно, калиф Омар отдал приказ сжечь книги в таких словах: „Либо эти книги содержат ТО, что есть в Коране, и тогда они лишние, либо они содержат другое и в таком случае они безбожные“. Этот рассказ, однако, в позднейшее время считают не очень достоверным; не лишено вероятности, что много книг было увезено в другие места, особенно в Константинополь, столицу Восточно-Римской Империи, где греческая культура, хотя и не в цветущем состоянии, сохранялась однако до завоевания этого города турками в 1453 году.

И однако те самые магометане, которые в первом пылу завоевания уничтожили так много памятников греческой культуры, стали связующим звеном между древней культурой и средневековой. Без этого связующего звена наши сведения о культурной жизни народов древности, вероятно, были бы чрезвычайно ничтожны.

Громадное магометанское царство простиралось от Испании чрез Северную Африку и Азию до самого Индостана. Правда, позднее оно раздробилось, но могущественные калифы в Багдаде и Кордове в продолжение длинного ряда годов оставались покровителями наук. Они призывали к своим дворам ученых безразлично, были ли ТО магометане, христиане или евреи, они основывали в различных местах своих царств высшие школы и устраивали библиотеки, в которых собирались копии и переводы греческих трудов. Из них Абдалла Аль Мамунъ, бывший калифом багдадским в 813 г. и воспитанный христианским врачом-грекомъ, так любил науку, что при заключении мира с побежденным им Византийским императором Михаилом II потребовал себе копии всех греческих книг.

В X веке в Испании процветала Кордова, резиденция калифов. Этот город имел высшую школу, которая посещалась молодежью христианской Европы, и библиотеку с 600 000 томов, которая, к сожалению, была сожжена по приказанию кардинала Хименеса, когда Фердинанд Святой завоевал этот город в 1236 г. В течение нескольких столетий Кордова была центром Европы в отношении науки, искусства (архитектуры) и поэзии. Мавританская Испания имела в XII веке 14 высших школ и 70 общественных библиотек. У мавров прекрасно процветали в то же время сельское хозяйство, садоводство, горное дело и торговля.

Между магометанами не было недостатка в оригинальных писателях, но выдающихся умов, отмечающих поворотные пункты в истории науки, у них не появилось. Самой важной связью научных стремлений в отдельных центрах был интерес к науке со стороны самих калифов и их терпимость по отношению к иноверцам. Однако, хотя некоторые калифы стремились распространить плоды наук в народе при помощи школ (в Кордове в X веке было 80 бесплатных школ) и библиотек, но, в сравнении с затраченным трудом, они достигли только незначительного успеха.

Народ не был тогда еще подготовлен к этому; а там, где народная масса не представляет, так сказать, широкого поля, каждый клочок которого может вырастить хорошие всходы, там конечно просветительная деятельность калифов могла иметь свое значение в смысле передачи накопленных знаний и в смысле известного внешнего блеска, но плодотворной в более высокой степени она не могла быть. Ради исторической связи поэтому нужно упомянуть о магометанском периоде; к этому можно прибавить, что у арабов были искусные астрономы, деятельность которых была направлена на определение величины земли¹⁾, положений небесных тел, длины года, наклона эклиптики и пр. Однако, так как эти измерения едва ли производились лучше, чем более древние измерения греков, то нам незачем останавливаться на этих попытках.

Посредничество арабов между древностью и средними веками, а также между Восточной Азией и Европой оставило ясные следы в ряде названий, которыми мы пользуемся еще и нынче, как, например, зенить, надирь, Альдебаран (звезда в Тельце), Алькор и Мизар (в Большой Медведице), алидада (приспособление для отсчета углов в измерительных инструментах). Как посредники между востоком и западом, они принесли нам от китайцев компас и селитру, от индусов их систему счисления и вычисления при помощи букв, известные нам под именем „арабских цифр" и алгебры.

*) Упомянутый выше Аль Мамун приказал, например, произвести градусное измерение в Месопотамии. Одна из двух экспедиций должна была измерить один градус на севере, другая один градус на юге. Первая нашла для длины градуса 56, вторая 56²/₅ арабских миль. Недовольный этим, Аль Мамун приказал повторить измерение, но результат получился тот же самый. Которое из измерений было лучше, мы не можем решить, так как нам только известно, что арабская миля равна 4000 локтей, но неизвестно, были ли это Царские локти или черные локти. Первые имели 24, последние 27 дюймов. Дюйм имел длину 6 зерен ржи, положенных бок о бок. Так как по этому измерению северный градус был короче южного, то результат этого измерения в XVII столетии—к сожалению, ошибочно—принимался в расчет в вопросе об истинной форме земли.

Зарождение астрономии в Западной Европе

58. Впродолжение арабского периода европейские народы обнаруживали лишь незначительный интерес к наукам. Карл Великий сделал попытку призвать к жизни при своем дворе учреждения, подобные тем, которые устраивали калифы. Он призвал к своему двору ученого Алькуина (род. в 736 г. в Нортгемберланде) и приказал устроить школы при монастырях. Но непосредственно его стремления не имели большого успеха.

Далее покровителями наук называют императора Фридриха II Гогенштауфена (ум. 1250) и короля Альфонса X Кастильского (ум. 1284). Последний поручил комиссии, в состав которой входили кроме христианских также еврейские и магометанские ученые, вычислить улучшенные астрономические таблицы, так как таблицы Птолемея были уже не удовлетворительны. Так как работа этой комиссии также не дала удовлетворительных результатов, то король приказал повторить вычисления еще раз, не получив однако лучшего результата и на этот раз. Как понимал король Альфонс несовершенство наук, видно из одной фразы, которую он как-то сказал своим астрономам. После того, как они объяснили ему движение небесных тел по улучшенной теории Птолемея, он выразил мнение, что еслибы Бог призвал его на совет при сотворении мира, то все было бы устроено проще. Это слово упало впрочем на опасную почву и позднее навлекло на него упрек в оскорблении божества.

Замечательно, что все названные государи были в дружественных или по крайней мере в мирных отношениях с магометанами.

59. Молодежь Европы не могла найти удовлетворения в той духовной пустыне, которая царила в ее родных странах. Поэтому многие направлялись в Испанию изучать науки у мавров. Но на это не особенно благосклонно смотрела церковь и так как одним из древних писателей, которого по преимуществу изучали в Испании, был Аристотель, то его сочинения до XII столетия подвергались обвинению в ереси и даже сжигались, а его последователи отлучались от церкви.

Наконец, пришлось прибегнуть к единственному средству, которое могло остановить это течение: около 1200 года начали основывать высшие школы, „университеты“ в различных городах Европы: в Париже, Оксфорде, Кэмбридже, Неаполе, Салерно, Болонье, Падуе, Павии и т. д. Но конечно нужно было иметь также и предметы обучения, а так как иного выхода не было, то пришлось обратиться к тем самым предметам, которые подвергались осуждению, пока их можно было находить только у мавров. Теперь стали сравнивать мировоззрение Аристотеля с Библией и стали находить, что их во всем можно согласовать друг с другом, в крайнем случае при помощи известных толкований их текстов. Сочинения Аристотеля теперь не только терпелись, но даже стали руководством в вопросах исследования природы. Что говорил Аристотель, то и было правильно, не больше и не меньше. Вследствие этого Аристотель, взгляды которого на многие физические вопросы были совершенно ложны, стал даже препятствием для дальнейших исследований. В течение следующих столетий многим ученым пришлось страдать под этим духовным игом и бороться против него, пока наконец не удалось сбросить это ярмо.

60. К счастью оказалось, что европейская почва была так же благоприятна для процветания наук, как и магометанская. Впрочем, еще несколько столетий протекло до того времени, как науки несколько укоренились, и в течение еще нескольких веков даже люди, серьезно занимавшиеся наукой, путались в астрологических и мистических представлениях. Замечательно, что именно магометанам было суждено—правда, совершенно произвольно,—дать толчек к дальнейшему развитию наук в Европе. Когда в 1453 г. турки завоевали Константинополь, множество греческих учителей лишилось родины. Большею частью они направлялись в Италию и здесь находили условия, которые позволяли им продолжать работу, прерванную их предками. Потому-то именно в Италии и началось Возрождение наук.

61. Очень естественно поэтому, что величайшему астроному и математику XV столетия, Региомонтану пришлось быть в учении у греческих беглецов в Италии.

Региомонтанъ, настоящее имя которого было Иоганн Мюллеръ, родился в 1436 г. в Кенигсберге, во Франконии. Он развился необычайно рано и въ возрасте от 12 до 15 лет учился в Лейпциге, а затем в Вене; здесь онъ был учеником известного астронома Пурбаха, который снова обратился к уче-

Рис. 39



РегиомонЧганъ.

нию о вращении земли, так как его не удовлетворяла система Птолемея. Папский легат в Вене пригласил Пурбаха ехать с ним в Римъ, чтобы там изучать греческий оригинал Альмагеста. Однако, прежде чем этот план был выполненъ, Пурбах умер (в 1461 году). Тогда то же предложение было сделано Региомонтану, который принял его. У одного греческого беглеца, Георга из Трапезунда, он научился греческому языку и стал изучать Птолемея и других греческих писателей на их родном языке.

По возвращении он недолгое время был профессором астрономии в Вене, а затем принял приглашение короля Венгрии Матвея Корвина привести в порядок греческие рукописи, которые последний привез с собой из Константинополя; в 1471 году он перебрался в Нюрнберг, где в лице патриция Бернгарда Вальтера нашел покровителя и истинного друга науки. Последний построил первую астрономическую обсерваторию в Германии. Тогда/как Гиппарх для определения положения солнца пользовался луной, Вальтер повидимому первый воспользовался для этого Венерой (см. § 39). Дело в том, что последняя бывает иногда видима для хорошего зрения и до захода солнца, а так как она движется медленнее луны, то для такого рода определений гораздо удобнее. Региомонтан пользовался у своих современников большим и вполне заслуженным уважением. Вместе с Пурбахом он содействовал введению нашего нынешнего способа счисления, который гораздо яснее и удобнее для вычислений, нежели римская система. Он ввел вычисления при помощи букв и улучшил тригонометрию. Как астроном, он отстаивал практическую точку зрения, что важнее делать хорошие наблюдения, чем набрасывать системы мира. Поэтому Региомонтан отбросил также идею Пурбаха о вращении земли. По его мнению, еслибы земля летела через воздух, птицы не могли бы возвращаться к своим гнездам. В то время полагали, что вселенная вся заполнена воздухом, и не догадывались, что земля может увлекать свою атмосферу с собою и, следовательно, не лететь сквозь нее. Впрочем, в то время говорили о высоте круга паров (например, Посидоний, § 53), но под этим разумели более глубокий слой, в котором плавают облака, а не чистый воздух, находящийся выше в пространстве между небесными телами.

В то время было уже общеизвестно, что счисление времени пришло в беспорядок, и потому папа Сикст IV пригласил знаменитого Региомонтана приехать в Рим и составить план улучшения календаря. В награду он должен был впоследствии получить епископскую кафедру в Регенсбурге. Однако, вскоре по прибытии в Италию, в 1476 году Региомонтан умер.

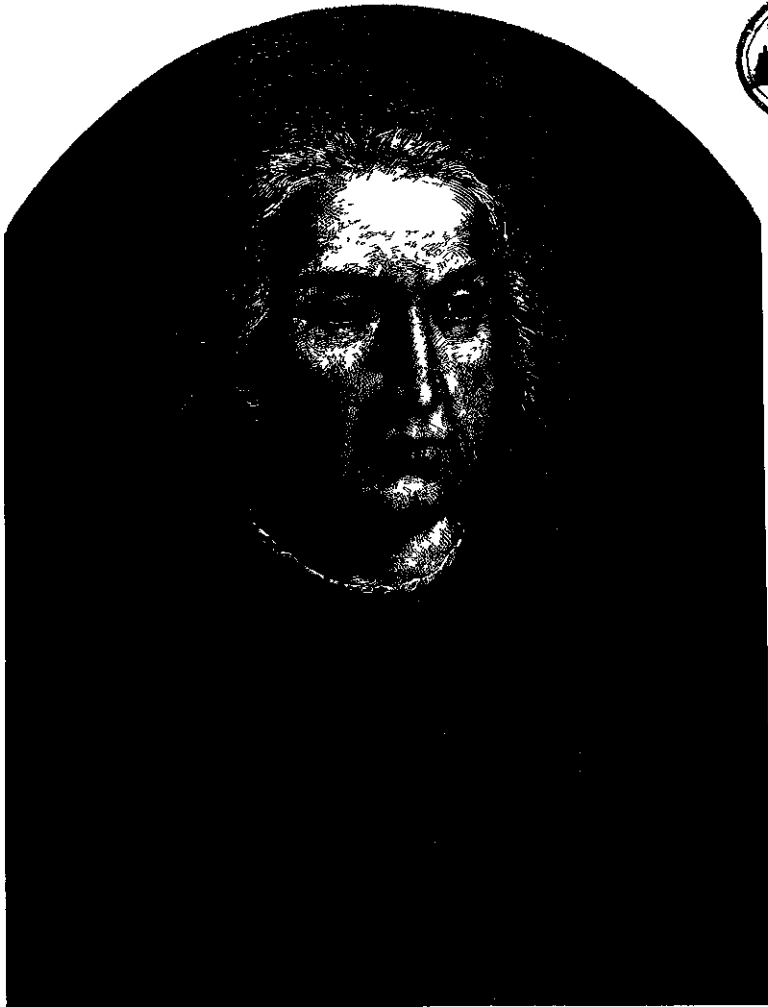
Одна из работ Региомонтана имела необычайное значение; это было нечто вроде календаря на 32 года, от 1475 до 1506 гг., содержавшего данные относительно солнца, луны и звезд. Этот труд сыграл важную роль в зарождавшемся тогда искусстве плавать на море „по звездам“. Книга Региомонтана оказала неоценимые услуги Колумбу и другим великим мореплавателям того времени.

Если, с одной стороны, подвиги этих мореплавателей нужно считать плодом пробуждавшейся астрономии, то, с другой стороны, они в свою очередь плодотворно действовали на развитие науки и культуры вообще. Здесь не место останавливаться на подробностях подвигов Колумба, но отметить связь его деятельности с развитием астрономии необходимо.

62. Христофор Колумб, род. в 1456 г. (не 1436, как принималось раньше), некоторое время провел в университете в Падуе, где занимался преимущественно математикой, географией, астрономией и навигацией. Пробыв несколько лет моряком, проплавав по Средиземному морю и совершив путешествия в Англию, Исландию и в некоторые другие страны, он поселился в Лиссабоне, где женился и существовал рисованием карт моря и суши. Здесь он изучал глубже астрономическую географию, именно благодаря влиянию Мартина Бе-

гайма, ученика Региомонтана, приехавшего в Португалию в 1480 году. Здесь он был назначен членом комиссии по развитию навигации, что тогда представляло очень значительное положение, так как в это время вопрос об отыскании морского пути в Индию чрезвычайно интересовал португальцев. Бегайм познакомил также Колумба с изобретенной Региомонтаном астролябией, которая служила для измерения высот солнца и привешивалась к мачте корабля.

Рис. 40



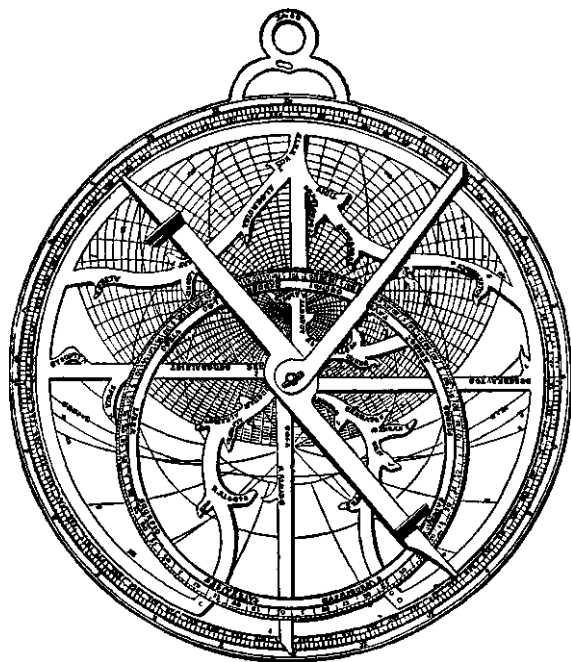
Христофоръ Колумбъ.

Колумб изучал также древнія греческія сочинения, трактовавшія о формѣ земли, и состоялъ въ перепискѣ со многими учеными, которые были знакомы и съ древней и съ новой литературой, какъ, напримеръ, съ престарелымъ итальянскимъ астрономомъ Тосканелли (род. 1397), который сильно поддерживалъ Колумба въ его планахъ. В одномъ изъ своихъ писемъ Колумбу онъ между прочимъ говоритъ:

„Ты видишь, что путешествие, которое Ты хочешь предпринять, гораздо менее опасно, чем можно было бы думать, и Ты был бы совершенно убежден в этомъ, еслибы, подобно мне, имел случай познакомиться со многими людьми, бывавшими въ тех странах“.

Величину земного шара в то время знали уже довольно хорошо и потому могли вычислить расстояние до Азии через Атлантический океанъ, считая конечно известнымъ расстояние до восточной Азии по обычному тогда пути. Недостовѣрныя описанія путешественниковъ, бывавшихъ в тех частяхъ Азии (Марко Поло), привели Тосканелли и другихъ к ошибочному мнѣнию, что известная в то время часть земного шара простирается на две трети окружности земли и что, следовательно, путь через Атлантический океанъ долженъ составлять одну треть окружности. Последнее,

Рис 41



Астролябия Регюмонтана.

впрочемъ, приблизительно согласовалось с темъ разстоянiемъ, которое Колумбъ прошел по направлению къ западу, и почему он жил и умер въ убежденiи, что открылъ именно Азию и ея многочисленныя острова.

Такимъ образомъ Колумба увлекало, такъ сказать, теченiе времени. Что раньше или позже Америка была бы открыта, не подлежитъ никакому сомнѣнiю. Но что Колумбъ в 1492 году сделалъ счастливое открытiе, оказавъ этимъ великую услугу человечеству, что это открытiе не произошло позднее, всемъ этимъ мы обязаны главнымъ образомъ его твердому убежденiю и той железной волѣ, с которой онъ, какъ известно, боролся съ различными затрудненiями, встававшими на его пути.

Такимъ образомъ возрожденная греческая астрономiя дала в Европѣ начало практическимъ результатамъ, которыхъ добились Колумбъ и другiе великiе путеше-

ственники того времени; она дала также вспомогательныя средства для этой работы в виде астрономических инструментовъ, таблиц и указаний. С другой стороны и географическія открытія оказывали свое влияние на развитие астрономіи. Слышать теоре-

тическія доказательства того, что земля" должна быть шаромъ, и слышать от какого-нибудь моряка, что он был на той стороне земли,—две совершенно различныя вещи. А уже и ТО представление, что земля есть свободно носящійся в пространстве шаръ, а не дискъ, имеет необыкновенное значеніе для всего мировоззренія. Поэтому весьма знаменательно, что вскоре после этихъ великихъ открытій в области астрономіи появляется система міра Коперника.

Рис 42

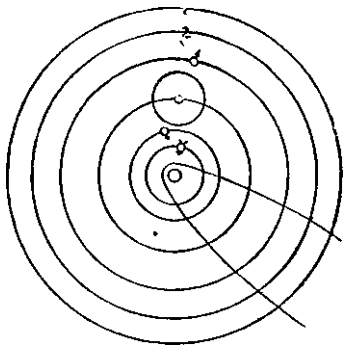


Николай Коперникъ.

63. Поляк по происхожденію, Николай Коперник родился в 1473 году в Торне, отец же его был родом из Франкенштейна в Шлезии.

Коперник изучал сперва в Кракове богословие и медицину, а также математику и астрономию. В 1496 году он переехал в Италию, где посвятил себя юридическим, медицинским и астрономическим занятиям в Болонье, Риме и Падуе. Без сомнения, в это время он также изучал древних греков. С другой стороны, некоторые наблюдения, сделанные им, повидимому, имеют второстепенное значение; вообще в деле наблюдения Коперник, кажется, никогда не был особенно силен (§ 70). По возвращении из Италии (1505) он обосновался в Гейльсберге, где его дядя был епископом, а он сам в течение нескольких лет каноником. Здесь в тишине и уединении он посвятил шесть лет обработке своего знаменитого труда о движении небесных тел. По смерти дяди до конца своей жизни (1543), с небольшим только перерывом, Коперник жил во Фрауэнбурге. Свой труд он закончил в 1530 году. Он сообщал о нем своим ученым друзьям, но не думал публиковать его. Только в 1542 г. Коперник решился под давлением друзей, а именно епископа Гизе Кульмского и профессора Ретика в Виттенберге, разрешить печатать свой труд; в посвящении, обращенном к папе Павлу III, он говорит, что труд этот вылеживался у него не девять, а четырежды девять лет Коперник не дожидаясь окончания печатания своей книги. В первое время с его трудом знаком был только небольшой круг ученых и в течение 70 лет церковь не предъявляла никаких претензий к этой книге.

64. Труд¹⁾ Коперника обнимает шесть книг и представляет подробную астрономию, которая содержит даже мелочи, вроде вспомогательных таблиц для астрономических вычислений. Но при всех своих разсуждениях и объяснениях он кладет в основу предположение, что солнце неподвижно, а земля делает в



течение одного года оборот вокруг солнца и в течение одних суток оборот около своей оси; эта ось наклонена к плоскости земной орбиты и остается параллельной самой себе, изменяя свое направление только с течением тысячелетий. Все это не ново (ср. §§ 29 и 30). Коперник мог найти это при изучении древних греков, но не менее достойно удивления и то, что он вырвал эти мысли из тьмы забвения; это ясно свидетельствует о том, что Коперник положил в основу собственных работ историческое изучение предмета; и в результате своего изучения он пришел к Система Коперника (с кометной выводом, что планеты

так же, как земля, движутся около солнца по кругам).

Коперник первый соединил в одну семью землю и планеты, первый признал их детьми солнца. Он расположил их соответственно расстоянию от солнца в следующем порядке: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн. Чем дальше от солнца находится планета, тем медленнее она движется.

¹⁾ Его заглавие: *De revolutionibus orbium coelestium libri VI*. Первое издание появилось в Нюрнберге.

Теперь объяснение петлеобразных движений планет стало очень простым. На рис. 44 два круга представляют орбиты земли и Марса. Земля и Марс одновременно находятся в тех местах своих орбит, которые обозначены 1 и 1', так же одновременно (например, месяцем позднее) в точках 2 и 2', затем в точках 3 и 3 и т. д. Таким образом Марс сначала будет виден в направлении 1'' между звездами, затем в направлении 2'', затем в направлении 3'', следовательно, в прямом движении; далее мы увидим его в направлениях 4'' и 5'', следовательно, в обратном движении, наконец в направлениях 6'' и 7'', снова в прямом движении. И если бы орбиты земли и Марса лежали в одной и той же плоскости, то нам бы казалось только, что планета движется по одной линии взад и вперед (рис. 44, 1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'', 7''). Но если принять плоскость рисунка за плоскость земной орбиты, то орбита Марса будет частью лежать выше, а частью ниже плоскости рисунка. Если бы, например, точка 1' лежала выше плоскости рисунка, точка 2' в самой плоскости и точки 3'—7' ниже ее, то первая часть орбиты (Г до 2') лежала бы выше указанной прямой линии, а остальная часть ниже ее. В своем движении от 2' до 7' Марс все время опускается ниже и ниже под плоскость рисунка, но в точках 4' и 5' он будет казаться ниже, чем в точке 6', так как земля в точках 4' и 5' ближе к Марсу; вследствие этого линия зрения опускается здесь вниз круче. Таким образом получается петля Г'' 2'' 3'' 4'' 5'' 6'' 7''.

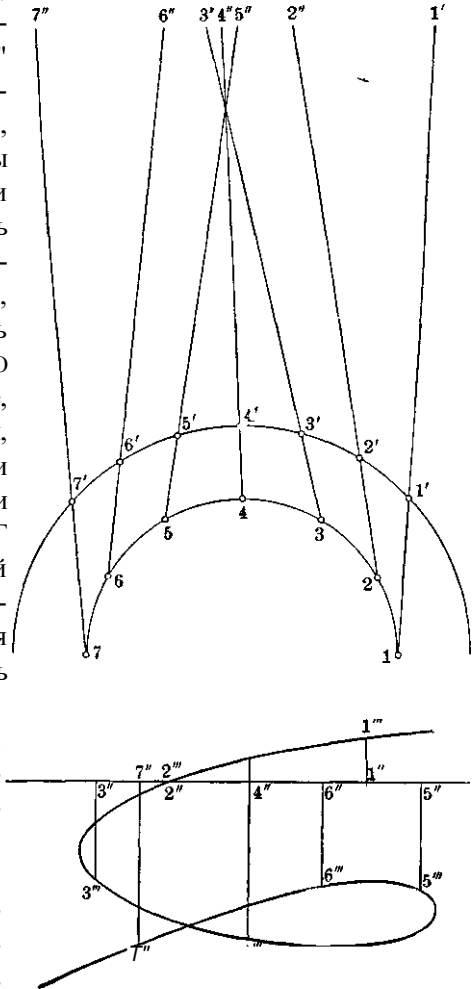
Итак, видимые неправильные отклонения планет в стороны (по широте) происходят вследствие наклона планетных орбит к земной и вследствие изменения

разстояний планет от земли.

Таким же образом объясняются движения Юпитера и Сатурна.

Движения Меркурия и Венеры с земли представляются колебательными движениями в одну и в другую сторону от солнца. В действительности обе эти планеты могут находиться между нами и солнцем или же быть по ту сторону от солнца и, конечно, в первом случае они значительно ближе к нам. Когда Венера находится к востоку от солнца, так что солнце заходит раньше Венеры, ее можно наблюдать после солнечного захода, как вечернюю звезду. Когда же она

Рис. 44



"Движение Марса.

находится к западу от солнца, ТО восходит раньше солнца и бывает тогда утренней звездой. Меркурий также бывает иногда вечерней звездой, а иногда утренней, НО так как он не далеко уходит от солнца, ТО наблюдать его ВО время утренних и вечерних сумерек очень трудно, особенно в более северных широтах, где солнце опускается к горизонту по более наклонной линии. Коперникъ, который был даже в Италии, где солнце заходит уже несколько отвеснее, а воздух чище, чем в Германш, жаловался, как говорят, на сврем смертном одре, что он никогда не видел Меркурия.

Пути внутренних планетъ, особенно орбита Меркурия, также несколько наклонны к земной орбите, так что их редко можно наблюдать проходящими через самый диск солнца.

65. Таким образом Коперникъ нашел объяснение своеобразных движений планетъ, предположивъ, что планеты и земля движутся вокруг солнца по кругамъ. Но для того, чтобы согласовать это объяснение с наблюдениями, он должен был принять, что солнце находится несколько в стороне от центра этих круговъ; тем ь не менее, как он сам должен был сознаться, достигнуть полного согласия теории с наблюдениями было невозможно. А от верного объясненш можно требовать, чтобы оно давало такое согласование. И даже если это выполнено, ТО еще нельзя быть увереннымъ, что данное объяснение правильно. Но если этого нетъ, ТО объяснение вовсе нельзя считать правильнымъ. Другой великий астрономъ, Тихо Браге, не находить этого необходимого согласия. Поэтому он отказывается развивать теорию Коперника дальше, а берется за задачу наново и притом ставит ее шире, чем это делалось когда-либо до тех поръ.

66. Тихо Браге, родившийся в 1546 году в Кнудструпе в датской провинции Шонш, был сгаршим сыном из десяти детей Отто Браге и Беаты Билле. Его родители оба принадлежали к старинному дворянству. Он воспитывался у своего дяди Ергена Браге в Тааструпе, который был женатъ, НО не имел детей. После изучения впродолжение нескольких лет латинского языка и даже попыток сочинения латинских стихов и писемъ, он вступил по тринадцатому году в Копенгагенский университетъ. Солнечное затмение, имевшее место в следующем году, возбудило удивление Тихо именно темъ, что оно было предсказано. Это пробудило в немъ интерес к астрономии. Однако дядя желал сделать из него государственного человека. На 15 году Тихо был послан в сопровождении своего 19-летнего гофмейстера Феделя в Лейпцигъ, где он должен был изучать государственныя науки; Федель имел стропй наказ удерживать его исключительно на этих занятияхъ. Федель старался изо всех силъ, НО ему не удалось удержать Тихо от изучения астрономии. Последний тайком вставал ВО время его сна по ночам и знакомился съ астрономическими книгами и жалкими инструментами, которые он тайком же приобрелъ. Его интерес к астрономш еще увеличился, когда в 1563 году по случаю соединения (конъюнкцш) Юпитера и солнца, он мог доказать при помощи простыхъ средствъ, какими располагалъ, что, как Альфонсинския таблицы, так и вычисленные на основе Коперниковой системы так называемыя Прутеновы таблицы были ошибочны.

Вследствие войны, вспыхнувшей между Данией и Швецией, Тихо в 1565 году получил от своего дяди приказание вернуться на родину. Вскоре затем послед-

ний умер и так как Тихо встречал мало понимания и симпатий в среде своего сословия, то он уехал в Виттенбергъ. Здесь он встретил многих земляковъ, которых сильно привлекал город Л.ютера. Чума заставила его перебраться въ город Ростокъ. Здесь он завязал сношенш с профессором Батгомъ, усердным астрологомъ. И Тихо пробовал свои силы в этом искусстве, которое въ

Рис. 45



Тихо Браге.

то время представляло приложение астрономии, пользовавшееся наибольшим вниманиемъ. Владетельные князья назначали для этого даже особых астрономовъ. Однако, впоследствии Тихо сам все более и более отделялся от этого суеверия. Позднее онъ, впрочемъ, по приказу Фридриха II составил гороскопы для принцев Христиана,

Ульриха и Ганса. Он произвел нужные для этого вычисления с большою тщательностью, но не упустил случая указать свои сомнения относительно достоверности астрологии. Так в заключении гороскопа принца Христиана он говорит: „Человек одарен от Бога свободной волей, которая стоит выше влияний небесных тел”. В конце гороскопа принца Ульриха он говорит, что все это только предположение, и олагаться на которое совершенно нельзя. Подобным же образом выражается Тихо и в гороскопе принца Ганса. Наконец, позднее по поводу предсказаний погоды немецкими астрологами, которые были ему представлены на одобрение, он пишет, что астрологические пророчества то же, что котурнь, который можно приспособить к каждой ноге, и что потому он никогда не имел к ним особенного доверия.

В Ростокке он имел несчастье поссориться с одним земляком и в поединке на улице лишиться куска носа, что позднее причиняло ему много неприятностей.

При своих дальнейших путешествиях по чужбине он нашел в Аугсбурге богатых покровителей астрономии и хороших механиков, которым поручил изготовление новых инструментов. Так, Тихо приказал соорудить большой квадрант из дубового дерева с медной шкалой (рис. 7), который 20 человек с трудом могли перенести на то место в саду, где он должен был стоять. Так как при помощи этого инструмента можно было измерять только высоту светил над горизонтом, то он приказал построить еще один секстант (рис. 46), при помощи которого можно было измерять расстояния звезд друг от друга. Затем Тихо приказал сделать золоченый глобус в четыре фута поперечником, на который должны были наноситься звезды по определению их мест. Эту работу он продолжал до самой смерти.

В 1570 году умер Отто Браге и Тихо унаследовал вместе с своим старшим братом Кнудstrup. Он вернулся на родину, но предпочел жить у своего дяди Стеена Билле в монастыре Герредсфадде, где для него была устроена лаборатория. За границей он занимался также химией, главной задачей которой в то время было добывание золота. Это „искусство” находилось во власти таких же суеверий, как астрология; в то время верили даже, что между алхимией и астрологией должна существовать внутренняя связь.

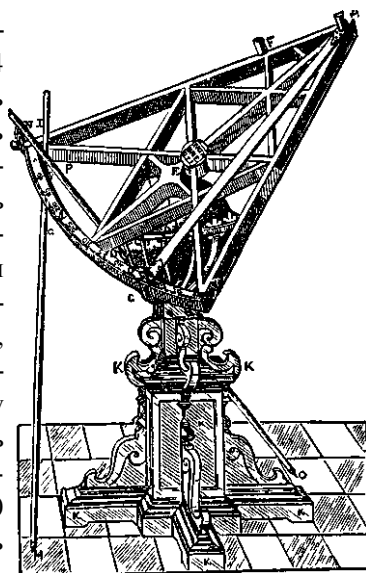
67. Одно астрономическое явление однако внезапно оторвало Тихо от его химических занятий. Именно, когда Тихо вышел из своей лаборатории вечером 11 ноября 1572 года, то высоко в небе, в созвездии Кассиопеи он увидел блестящую новую звезду. Убедившись из распросов нескольких рабочих и крестьян, что это явление не было только его фантазией, он тотчас же принялся за наблюдение окраски и видимой яркости звезды, а также за измерение ее расстояния от других звезд. Звезда была ярче всех других звезд и была видима даже в полдень. Сначала она была белой, позднее стала желтой и красноватой и в то же время ослабела, пока, приблизительно через полтора года, совершенно не исчезла.

Из измерений Тихо Браге выяснилось, что звезда была совершенно неподвижна. За все время ее наблюдений она не обнаружила никаких перемещений. С разных сторон появлялись более или менее фантастические сочинения об этой

звезде, и Тихо Браге напечатал статью о ней еще до того, как она погасла. Позднее он написал об этой звезде подробную книгу. О содержании других сочинений едва ли нужно что-нибудь отмечать кроме того, что в них указывалось, согласно летописям, появление новой звезды приблизительно на том же месте в 945 и 1264 гг. ^{Рис 46} 68. В 1573 году

Тихо Браге женился на девушке по имени Христина, не дворянского рода. Неизвестно, была ли она дочь крестьянина или пастора, но этот шаг во всяком случае еще ухудшил плохия отношения Браге к дворянству. Правда в 1574 году он купил дом в Копенгагене, а в следующем году по желанию короля читал лекции в университете, но в 1576 году поехал в Германию, отчасти, чтобы посетить старых друзей, отчасти же, чтобы искать себе нового местожительства. Тихо собирался поселиться в Базеле; но когда в следующем году он снова вернулся домой, король, по совету своих советников, решил удержать Тихо Браге на родине, назначив ему жалование (500 талеров) и остров Гвень (Hven) в виде лена в пожизненное владение. Кроме того король назначил ему 400 талеров на постройку дома и позднее дал еще другие лены. Эта королевская щедрость дала Браге возможность построить на острове Гвене Ураниенборг—своеобразное здание, содержавшее много достопримечательностей и художественных предметов и окруженное фруктовыми садами и стенами. Замок этот был художественно отделан и богато украшен портретами великих людей прошлого и различными изречениями. Из последних, кажется, любимым было повторявшееся в различных формах „non haberi, sed esse" (не казаться, но быть). Обсерватория была снабжена также большой библиотекой, звездными глобусами и инструментами. Последние помещались большей частью в подземной обсерватории „Шернборг" (рис. 50), воздвигнутой возле самого Ураниенборга в 1584 г.

SEXTANS ASTRONOMICVS
IRIGOSICVS PRO DISTANTIIS
rimandis



Большой секстан Тихо Браге

Ураниенборг—своеобразное здание, содержавшее много достопримечательностей и художественных предметов и окруженное фруктовыми садами и стенами. Замок этот был художественно отделан и богато украшен портретами великих людей прошлого и различными изречениями. Из последних, кажется, любимым было повторявшееся в различных формах „non haberi, sed esse" (не казаться, но быть). Обсерватория была снабжена также большой библиотекой, звездными глобусами и инструментами. Последние помещались большей частью в подземной обсерватории „Шернборг" (рис. 50), воздвигнутой возле самого Ураниенборга в 1584 г.

Тихо Браге принимал в Ураниенборге визиты князей, ученых и государ-

Stella nova
1572

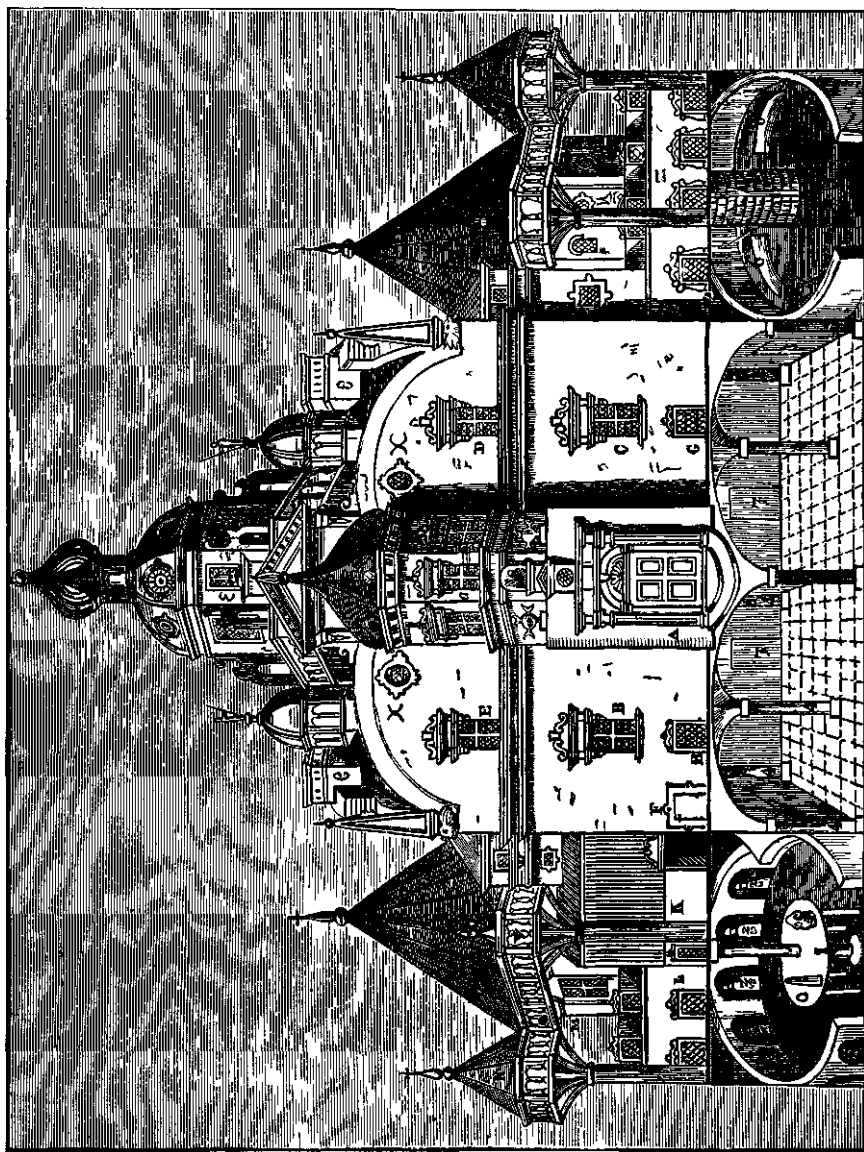
• Г

• а

∠ в Персеѣ.

Кассioпея с новой звездой Тихо Браге

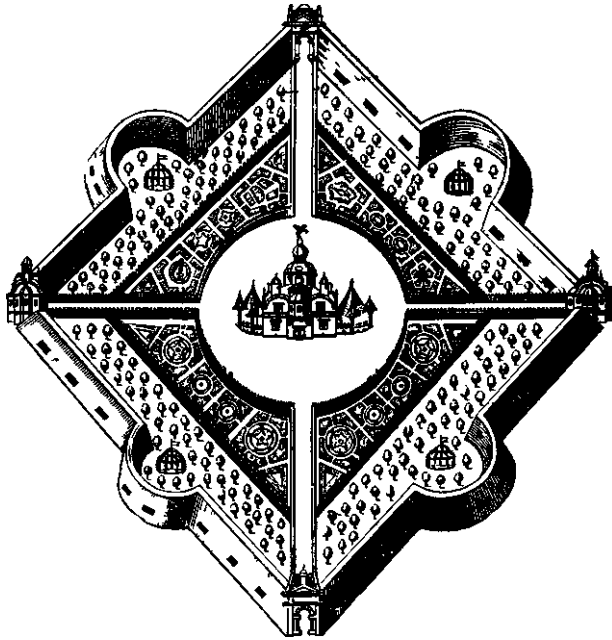
ственных людей из чужих краевъ, а в числе его учеников были не только лица, достигшия позднее высокихъ положений (епископы, профессора и т д), но также и простые крестьяне, имена которыхъ известны и теперь. В течение целого ряда лет Ураниенбургъ былъ духовнымъ центромъ, нередко дававшимъ импульсы и не одной только асинономш



69 Самую выдающуюся работу Тихо Браге, как астронома, представляют его необычайно точныя измеренш, с которыми не могут сравниться даже измерения Гиппарха. Его искусство в конструированш инструментов и в умении пользоваться ими, неутомимая заботливость, с которой он производил и повторял свои

измерения, стоят на недостижимой высоте, а его наблюденш представляют лучшее, что было сделано въ течение следующих двухсот летъ, не смотря на ТО, что несколько лет спустя после его смерти въ употребленіе вошелъ телескопъ. Даже и

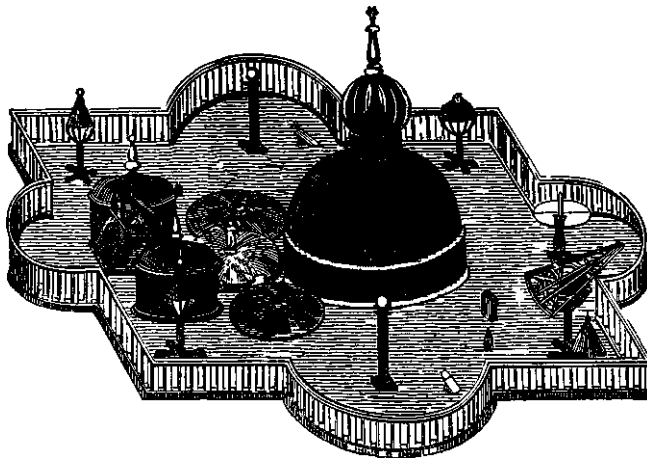
Рис 49



План Урашенборга и окружающей местности

теперь эти измерения представляютъ интересъ, какъ очень достоверный матеріалъ, имеющій за собою уже три столетш. Какъ важный примѣръ превосходныхъ спосо-

Рис 50



Шернборгъ

бывающаго наблюдения Тихо Браге, можно отмѣтить, что онъ опредѣлялъ положеніе звѣзды по наблюденію ея прохожденія черезъ меридіанъ, не только измеряя ея высоту

в меридиане, но и отмечая момент прохождения. Первое дает склонение (расстояние от экватора) звезды, последнее — ее расстояние к востоку или к западу от определенной исходной точки. Как производилось наблюдение, показывает рис. 52. Помощник *F* наблюдает высоту светила и выкрикивает момент прохождения, помощник // отсчитывает в этот момент часы, а помощник *G* отмечает результаты.

На точных определениях положений планет, которые произвел Тихо Браге Кеплер обосновал свою систему мира (§ 72). В одном вопросе Тихо Браге не

Рис. 51

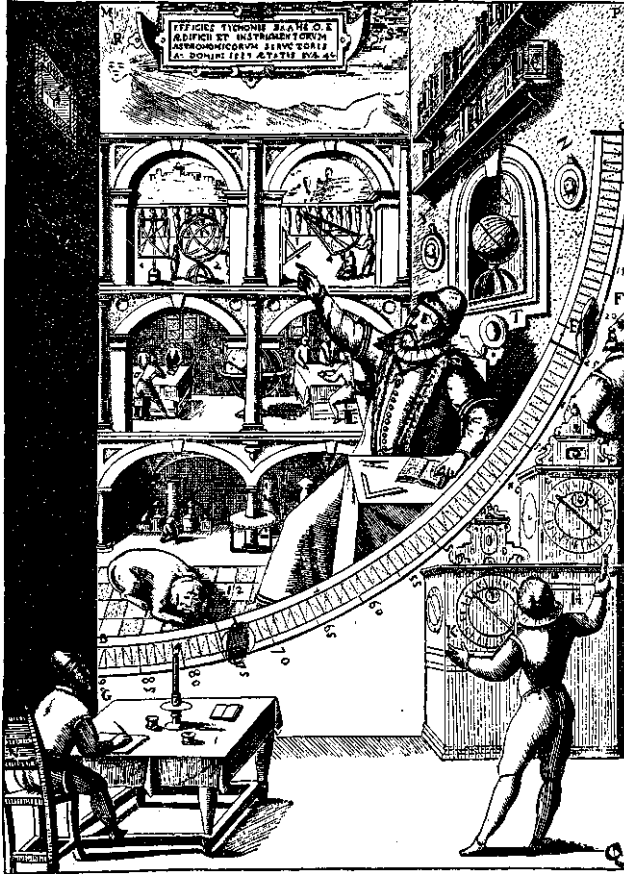


Посещение Тихо Браге королем Яковом Шотландскимъ.

только сделал измерение, но дал также и вывод из него. Как выяснилось из его измерений, кометы так далеки от земли, что не могут, как это думал Аристотель, быть испарениями земной атмосферы, но должны быть небесными телами, двигающимися по удлинненным путям. Этим была разбита старая теория кругового движения на хрустальных сферах и дано важное указание в пользу законов Кеплера.

70. Тихо Браге не признал законов Кеплера соответствующими истине. Еслибы земля действительно двигалась около солнца, то по его мнению за полгода она должна была бы смещаться настолько (на поперечник земной орбиты), что должно было бы обнаружиться перемещение тех звезд, которые находятся вертикально над плоскостью земной орбиты. Если в марте земля находится в точке M (рис. 53), а в сентябре в S , то звезда s должна быть видна в различных направлениях. Должен существовать угол MsS , так называемый параллакс. Однако Тихо Браге не удалось найти его. Допущение, что s так далеко, что этот угол

Рис. 52



Наблюдение высоты светила в меридиане.

не поддается даже тонким измерениям Тихо Браге, также казалось невероятным. Ведь в этом случае параллакс звезды был бы гораздо меньше видимых угловых размеров ее диска¹⁾ и потому выходило бы, что действительные размеры звезды значительно больше диаметра земной орбиты. Некоторые ученые, желая умалить значение Тихо Браге, утверждали, что он не был великим умом, так как не мог согласиться с Коперником. Однако это и несправедливо и неверно исторически.

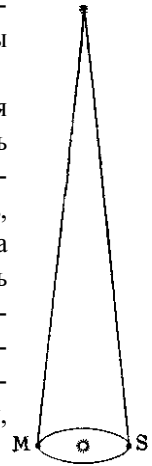
¹⁾ Браге оценивал диаметры дисков ярких звезд в $2'$ — $3'$, погрешности же его наблюдений, в которых параллакс мог остаться скрытым, были меньше $1'$. *Прим. пер.*

Под портретом Коперника, который был получен от самого Коперника и повешен в Ураниенборге, Тихо написал латинский стих, в котором выражал свое удивление человеку, решившемуся заставить неподвижную до того землю двигаться и свободно висеть в воздухе. Это, однако, не мешало ему и критиковать, и притомъ справедливо, скудные и отчасти ошибочныя наблюдения Коперника. Его ученик Е. О. Морзинг определил секстаном широту Фрауенбурга и, разойдясь с Коперникомъ, нашел ту величину, которую предполагал Тихо Браге. То, что Тихо Браге отстаивал неподвижность земли, является свидетельством его любви к истине, такъ как он полагался здесь на ТО, что говорили ему чувства, а проти-

Рис. 53

воположное в ТО время еще ничем не было доказано. Отсутствие параллакса у неподвижных звезд еще и в следующие века являлось камнем преткновения, хотя в ТО время уже стали известны другия достоверныя доказательства движения земли.

71. По смерти Фридриха II для Тихо Браге настало время разочарований и огорчений, причина которых отчасти лежала и в его своенравном характере. Больше всего сердило его то, что более молодые дворяне, замещавшие при королевском дворе старых, делали ему всевозможные препятствия, Браге терял один день за другим, и эта перемена обстоятельств так испортила ему жизнь на Гвене, что в 1597 году он решил покинуть Данию. Следующую зиму вместе со своей семьей и теми из помощников[^], которые последовали за ним, по приглашению графа Ранцау Тихо провел в Вандсбеке. Здесь он закончил свою важнейшую работу, список 1000 слишком неподвижных звезд. Император Рудольф II пригласил Браге в Прагу и он пытался продолжать



Линия зрения към

здесь свои работы. Но, когда император заметил, что пребывание в городе ему не нравится, то предложил Брате на выбор три поперечника земной орбиты.

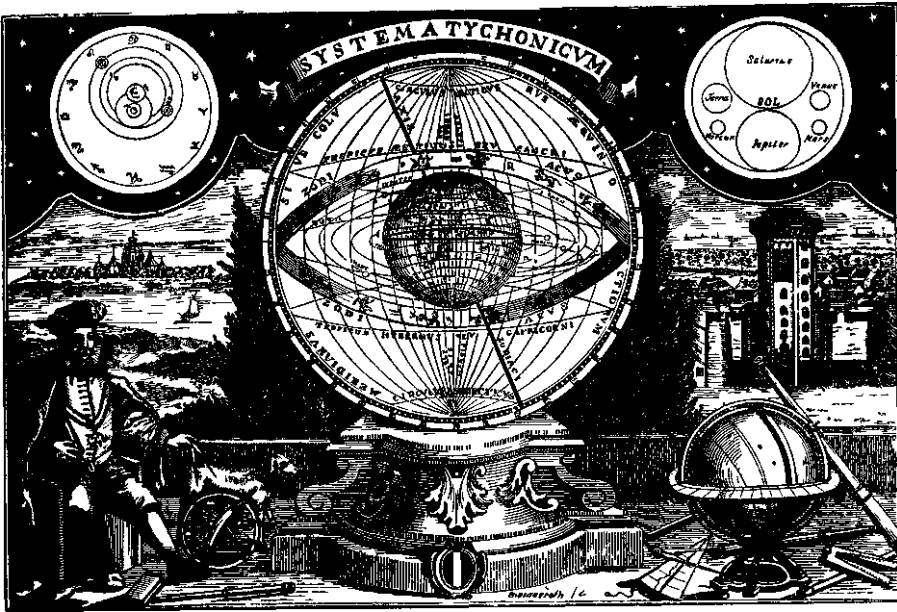
замка. Тихо избрал Бенатекъ; он работал здесь еще несколько летъ, но, очевидно, сильно тосковал по родине и по своим старым друзьямъ, а особенно по своему ученику Лонгомонтане. Даже характер Тихо Браге въ известной мере изменился. Ранее открытый и общительный, теперь Тихо сталъ недоверчивым и замкнутымъ, так что даже его новый замечательный помощник Иоганн Кеплер лишь съ трудом могъ получать отъ него необходимыя разъясненія. Тихо Браге умеръ въ 1601 году и былъ похороненъ съ царскою пышностью въ церкви Тайна въ Прагѣ. Спустя три года умерла его вдова, похороненная на томъ же мѣстѣ.

Ураниенборг скоро пришел в разрушение. Гюэ, посетивший остров в 1562, и Пикар в 1671 году лишь с трудом могли найти место, где он стоял. По Копенгагенскому миру в 1660 г. остров Гвен перешел к Швеции и когда в 1823 и 1824 гг. здесь были предприняты раскопки, то не было найдено почти ничего кроме камня у спуска в Шернборг с (латинской) надписью: „Не власть и богатство, а искусство владеет скипетром всех времен“.

72. Иоганн Кеплер родился в 1572 году в Вюртембергском городе Вейле. За отсутствием родителей — его отец нанялся в войска герцога Альбы — он получил первое воспитание отъ деда и бабушки. Дальнейшее образование, по-

лученное им в Леонберге и позднее в Эльмендингене, в Бадене, где поселились его родители по возвращении, было довольно скудно; но затем он посещал монастырские школы в Гирзау и Маульбронне, а после поступил в Тюбингенский университет для изучения богословия. Здесь - в лице астронома и математика Мэстлина, очень образованного человека и приверженца Коперникова учения, он нашел не только превосходного учителя, но и верного друга на всю жизнь. Благодаря рекомендации Мэстлина Кеплер в возрасте 22 лет был назначен профессором математики в Граце. Здесь он составил календарь и издал сочинение¹⁾, в кото-

Рис 54



Система мира по Тихо. Рисунок из „Danske Adelsmaend“; слева Гвеень, Тихо и его система мира, справа - воздвигнутая позднее „Круглая башня“, телескоп и сравнительные размеры планет

ром указывал своеобразный закон для расстояний планет от солнца. Кеплер нашел, что каждый из пяти правильных многогранников можно поместить между двумя из шести планет так, что одна планета движется по шару, проходящему через углы этого тела, а другая по шару, который касается плоскостей тела (описанный и вписанный шар). Так, между Меркурием и Венерой можно поместить октаэдр, между Венерой и землей икосаэдр, между землей и Марсом додекаэдр, между Марсом и Юпитером тетраэдр, а между Юпитером и Сатурном гексаэдр (куб). Правило это не вполне точно, но напоминает философию чисел (Пифагор); книга обратила на Кеплера внимание, между прочим, также внимание Тихо Браге, который в то время был в Вандсбеке. Он написал Кеплеру и пригласил его приехать к себе. Впоследствии, благодаря точным наблюдениям

¹⁾ Prodomus dissertationum cosmographicarum continens: Mysterium cosmographicum

Тихо Браге, Кеплер оставил эти мало удачныя умозрения; именно послѣднія наблюденія и дали ему возможность открыть истинныя законы планетныхъ движеній.

Кеплер женился на одной молодой вдовѣ, но долженъ былъ оставить семью в Грацѣ, такъ какъ молодой эрцгерцогъ Фердинандъ, воспитанникъ иезуитовъ, далъ обетъ св. Девѣ искоренить въ своей странѣ протестантизмъ. Тихо Браге снова пригласилъ Кеплера изъ Праги, когда послѣдній былъ уже въ пути. Мэстлинъ также старался найти ему мѣсто въ Вюртембергѣ, но напрасно. Поэтому Кеплеру пришлось удовлетвориться положеніемъ, предложеннымъ Тихо Браге, который

Рис. 55



Иоганн Кеплеръ

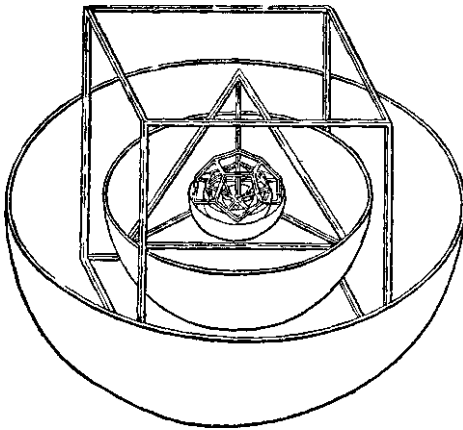
вслѣдствіе своего состоянія в это время не могъ быть приятнымъ начальникомъ; не улучшило положенія и то, что, по мнѣнію жены Кеплера, ея мужъ не долженъ былъ принимать этого подчиненнаго положенія.

75. После послѣдовавшей вскоре смерти Тихо Браге, Кеплеръ сдѣлался королевскимъ астрономомъ, однако съ жаирваніемъ только в половину того, что получалъ Тихо Браге. Положеніе его отягощалось еще темъ обстоятельствомъ, что королевское казначейство очень часто не было в состояніи выплачивать Кеплеру содержаніе. Вдова и дети Тихо Браге также получили за инсирументы несоответственное вознагражденіе. Вслѣдствіе этого Кеплеръ часто терпелъ нужду и, не имея денегъ для астрономическихъ инструментовъ, онъ отдавалъ часть своего

времени на изучение света и глаза, о чем будет речь ниже. К заботам о пропитании присоединялись и семейные. Его мать была запутана в один процесс о ведьмах, жена была душевнобольная и трое из его детей умерли.

Под гнетом таких безутешных обстоятельств Кеплер делал свои бессмертные открытия и находил те законы, которые навсегда будут носить его имя. Из вычислений движения Марса по результатам наблюдений Тихо Браге оказалось, что путь этой планеты есть эллипс (рис. 57), в одном из фокусов которого лежит солнце $6''$. Это подтвердилось и для остальных планетных путей, которые все оказались менее растянутыми (эксцентрическими), чем орбита Марса.

Рис 56 Второй Кеплеров закон каса-



Правильная тела и планеты.

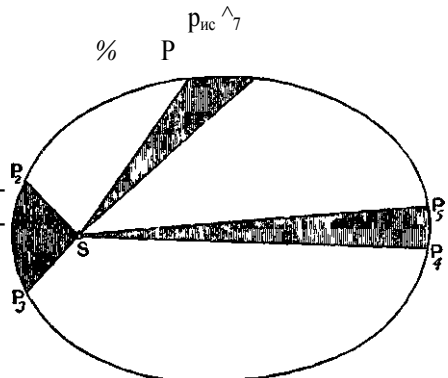
ется скорости планет в различных местах их путей. Эта скорость бывает наибольшей, когда планета ближе всего к солнцу, и наименьшей, когда она дальше всего от него. Кеплер нашел, что если вообразить себе линию из солнца (radius vector) движущейся вместе с планетой, то эта линия в равные времена будет описывать равные площади. На нашем рисунке секторы $SPPT$, $SP_2 P_3$ и $SP_4 P_6$ обозначают равные площади, которые радиус-вектор описывает в различных местах орбиты в равные времена. Третий

Кеплеров закон дает связь между средним расстоянием планеты от солнца и временем ее обращения. Квадраты времен обращения пропорциональны кубам средних расстояний. Если принять, например, расстояние земли от солнца за единицу длины, а ее время обращения (год) за единицу времени, то для Юпитера расстояние будет $5'2$, а время обращения 11-9. Но $\frac{T^3}{a^3} = -2\pi \cdot k$. Оба знаменателя приблизительно равны 141.

Первые два закона Кеплера опубликовал в „Astronomia nova“ (Прага 1609), третий в „Harmonices mundi“ (Линц 1619).

Три закона Кеплера не только совершенно справедливы, но они содержат также совершенно исчерпывающее описание пути, скорости, расстояния от солнца и времени обращения планет. Как мы увидим ниже, они образуют основание для теории сил, которые ведут планеты по их путям и о которых Кеплер, повидимому, также догадывался.

О тех вспомогательных средствах, которые позволили Кеплеру сделать эти важные открытия, он сам выражается в предисловии к „Astronomia nova“ следу-

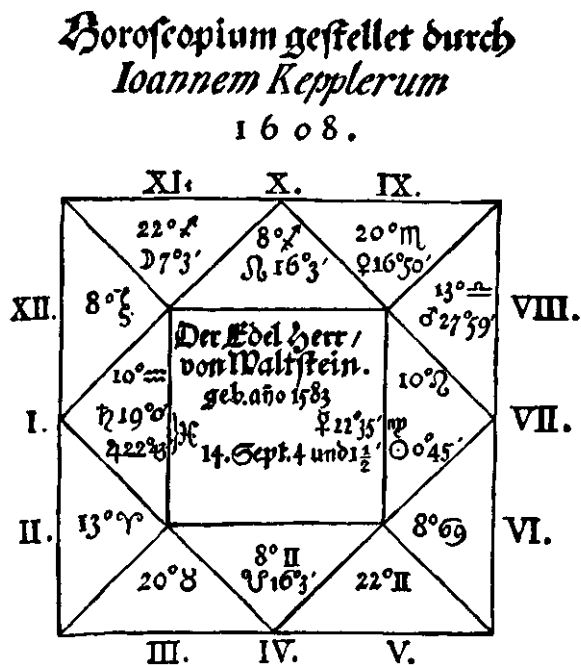


Планетная орбита

ющим образомъ: „Астрономы не умели победить этого бога войны (Марса). Но превосходный полководец Тихо за 20 лет ночных бодрствований раскрыл его военныя хитрости и я, при помощи бега матери-земли, обошел все его кривые пути". Последними словами Кеплеръ, очевидно, указывает на ТО, что он делалъ свои вычисления в предположении движения земли вокруг солнца.

74. Несмотря на ТО, что император предъявлял притязания на услуги Кеплера при различных обстоятельствахъ, напримеръ, на рейхстаге в Регенсбурге для введения новаго календаря, Кеплеру все время—и раньше и позже—приходилось

Рис. 58



Гороскопъ Валленштейна, составленный Кеплеромъ.

бороться с лишениями. Впрочемъ, он получил несколько лучшее место учителя математики окружной школы в Линце, удержав и положение придворного астронома. Однако деньги, обещанныя ему императором Фердинандом II за опубликование Рудольфинских таблицъ, не были выплачены. Император дал разрешение взыскать их с имперских городов Нюрнберга, Ульма и Мемингена, из которых только два последних уплатили требуемую сумму. Между тем печатание этого труда в Ульме началось. За получением причитывающихся еще 12000 гульденов Кеплера отослали к Валленштейну, получившему в ленъ Мекленбургъ. Кеплер отправился к - Валленштейну, которого нашел в Загане, в Шлезии. Валленштейнъ, приверженец астрологии, принявъ, правда, Кеплера и поручил ему составить свой гороскоп (рис. 58), но о 12 000 гульденовъ не хотел и слышать. Взамен того он предложил Кеплеру профессию в Ростокѣ, которую последний, однако, отклонилъ. Приведенный в отчаяние этим деломъ, Кеплер направил путь в Регенсбург с целью поддержать там передъ

рейхстагом свои требования. Здесь Кеплер умер вследствие тягостей пути спустя несколько дней после своего прибытия, 16 ноября 1630 года. Он был погребенъ вне стен города; двумя годами позднее, при осаде и штурме города саксонцами и шведами, его гробница была разбита и следы ея потерялись, так что место упокоения Кеплера остается неизвестнымъ. В 1808 году князь Дальберг воздвигнул ему памятник в общественном саду, который выходит уже за стены города. В родном городе Вейле Кеплеру также воздвигнут памятник (1870). О своемъ труде Кеплер сам (в *Harmonices mundi*, в конце главы IX пятой книги) выражается следующим образомъ: „ Благодарю Тебя, Господь и Творецъ, что Ты далъ мне наслаждаться Твоим творением и ликовать о делах рук Твоихъ. Я открылъ людям великолепие Твоих творений, поскольку мог охватить их бесконечность мой ограниченный разумъ. Если я сказал что-либо недостойное Тебя или искал у людей славы для себя, ТО милосердно прости мне".

С в е т ъ

Отть древнейшихтэ времеы до Нькэтоыа

С в е т ь

75. Первым проявлением сознания у ребенка является способность „видеть“, т. е. знать, что в том направлении, по которому приходит светъ, находится какой-то предметъ. Ребенок научается этому, без сомнения, только из опыта и эту способность нельзя считать врожденной. В доказательство верности этого можно привести тот фактъ, что один французъ, у которого веки были сросшены от рождения и затем были раскрыты при помощи операции, когда ему было уже более тридцати летъ, сначала не ощущал при этом ничего особенного и ему пришлось учиться видеть.

Тысячи опытов постоянно внушают нам и укрепляют убеждение, что въ том направлении, в котором мы видим что-нибудь, действительно что-то находится. Беря в руки какой-нибудь предмет или касаясь его, мы всякий раз получаем новое подтверждение этого. И потому-то вряд ли существуют лучшие способы вызвать совершенный обман чувствъ, чем те, в которых свет от предмета—при помощи, напримеръ, средствъ, упоминаемых ниже,—попадает в глаза не прямымъ, а какимъ-либо иным путемъ.

Мы часто пользуемся на практике прямолинейностью распространения света, когда желаем добиться большой точности. „Визируя“ по двум точкам на третью, мы основываемся на томъ, что три точки должны лежать на одной прямой, разъ оне кажутся нам лежащими на одной и той же визирной линии. Так именно топографъ убеждается в томъ, что его вехи поставлены по прямой, столяр поверяетъ правильность какого-нибудь ребра: они смотреть, лежат ли на одной и той же визирной линии все нужныя им точки или нѣтъ.

В основе всего этого лежит тот фактъ, что свет распространяется прямолинейно. Это положение было высказано греками уже в V веке до Р. X. И подобно тому, как бессознательное восприятие этого положения составляет первое проявление сознания у ребенка, так и первая сознательная формулировка его представляет первый пример установления закона природы. Под законом природы мы понимаем здесь краткое и точное выражение общего в многообразии явлений, въ остальномъ, быть можетъ, чрезвычайно различныхъ.

76. Установление этого закона представляет превосходный пример всей важности того шага, который делается при переходе от бессознательного приложения закона к его сознательной формулировке.

При представлениях греческих трагедий в V столетии до Р. X. пользовались неглубокой сценой. Чтобы лучше воздействовать на фантазию, греки зарисовывали задний фон сцены; при этом они рисовали не такія картины, которыя точно изображали

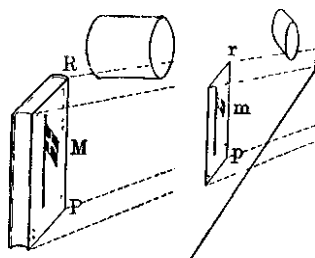
какое-нибудь действие или работу, как это мы находим у более древних народов, например, у халдеев и египтян, а представляли дома и т. п.; при этом они, однако, не гнались за точностью деталей, а старались лишь вызвать иллюзию у зрителей, внимание которых должно было обращаться главным образом на актеров; фон должен был производить впечатление, будто позади актеров находятся настоящие дома.

В такой приблизительно форме представил эту задачу Ага арк и в таком виде решали ее Анаксагор и Демокрит, которые построили учение о перспективе исключительно на том положении, что свет распространяется по прямой линии. Демокрит написал также „учение о прямой линии“, которое, к сожалению, не дошло до нас и, вероятно, было посвящено законам перспективы.

Рис. 59

В

О



Начало перспективы.

Основу перспективы составляет следующее: если провести от различных точек предмета RMP линии к глазу O , то глаз получает свет по направлениям RO , MO и PO . Но с какого расстояния приходит этот свет, глаз непосредственно не ощущает. Поэтому, будет ли свет исходить из точки R или из точки r доски, он должен производить одно и то же действие. Таким образом, искусство здесь состоит в том, чтобы дать на доске такой рисунок, который посылал бы глазу свет так, как посылает его сам предмет; для этого свет от рисунка должен выходить из тех точек его, в которых линии зрения к действительному предмету пересекали бы плоскость рисунка. Для этого служит целый ряд математических положений, которые составляют учение о перспективе; но мы не можем входить здесь в дальнейшие детали. Таким образом, закон прямолинейного распространения света составляет основание целой науки.

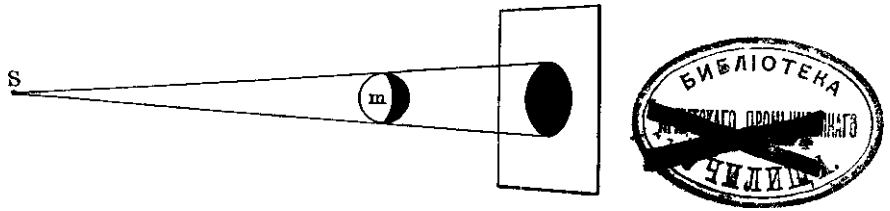
В области естествознания главную силу греков составляла по преимуществу мыслительная работа. Им были известны только немногие законы природы, но их

способность использовать те немногие куски благородного металла, которые они находили, будет возбуждать удивление во все времена.

77. Другую отрасль науки, близкую к перспективе, составляет учение о тенях, основанное на том же законе природы.

Световые лучи расходятся от светящейся точки S по прямым линиям. Часть их, вправо от источника света (рис. 60), попадает на экран и освещает его; однако, те лучи, которые падают на тело m , не достигают экрана и на последнем получается неосвещенное место, так называемая тень тела. Пространство между нею и самим телом также называется его тенью. Для того, чтобы начертить тень от какого-нибудь предмета, нужно, таким образом, провести из светящейся точки S

Рис. 60



Образование тени.

прямые линии, которые касаются тела, и найти точки, в которых эти линии встречают экран или другую поверхность. Способы решения этой задачи и составляют содержание учения о тенях.

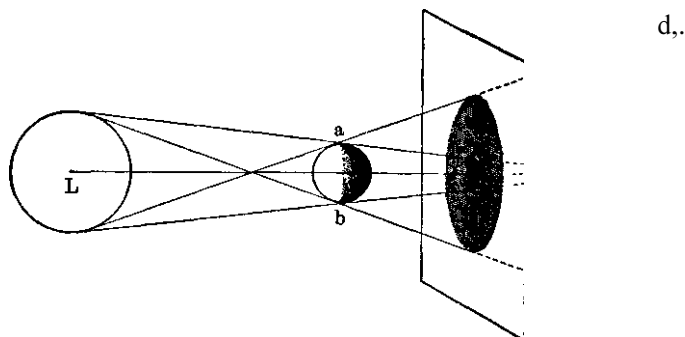
Если источником света является не точка, а целое тело (рис. 61), то из каждой его точки нужно провести линии, касающиеся тела, отбрасывающего тень. Каждая точка светящегося тела образует тень. Все эти тени более или менее налагаются друг на друга. На иные места (черное пятно) не попадает никакого света, тогда как на другие места (полутемные) попадает часть световых лучей. На первом месте образуется ядро тени, а на других полутень (слово „полу“ не следует понимать буквально). Если светящееся тело больше предмета, отбрасывающего тень, то с удалением экрана поперечник ядра тени уменьшается. Если экран удалится по ту сторону точки e , то на нем вовсе не получится ядра тени. Напротив того, полутень с удалением экрана увеличивается; увеличивается также и ядро тени, если светящееся тело меньше того, которое отбрасывает тень.

78. Повидимому, у греков существовали различные мнения относительно того, обусловлен ли процесс зрения чем-нибудь таким, что исходит из глаза, или же тем, что исходит из самого светящегося предмета. Аристотель придерживается Итоследнего взгляда, а именно, что свет есть действие, которое исходит из предмета и действует на глаз, так как иначе можно было бы видеть одинаково хорошо и в темноте и на свету. Нескольким философам приписывается мнение, что это действие исходит из глаза, но приписывается, может быть, просто по недоразумению. В учении о перспективе прямые линии проводятся от глаза к различным точкам предмета и если, быть может, Демокрит в своем „Учении о прямой линии“ так именно и выражался, то отсюда не следует, что он этим утверждал, будто световой или зрительный эффект распространяется именно

этим путем. В самом деле, для изложения учения о перспективе совершенно безразлично, в каком направлении идет свет; здесь имеет значение только прямолинейность его распространения и больше ничего. И удобнее всего рисовать линии зрения, начиная с глаза.

Если такой человек, как Птолемей, говорил о лучах, как о чем-то, исходящем из глаза, то это происходило, может быть, только потому, что в то время совершенно ничего не было известно о направлении, в котором распростра-

Рис. 61



Тень и полутень.

няется свет. Птолемей описывает эти явления с такой математической простотой, какая только возможна; таким же образом он и движения небесных тел представлял себе так, как они кажутся глазу.

Если Платон думал, что в этом случае должен действовать и предмет и глаз, то он мог привести доказательство подобное тому, какое давал Аристотель, а именно, что нельзя видеть без света, но нельзя также видеть и без глаза.

Только сравнительно недавно, уже в новейшее время удалось определить опытным путем, в каком именно направлении распространяется свет. В подобных вопросах одно философствование не может решить дела.

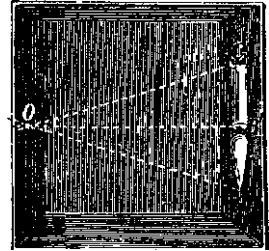
79. Другия явления, которые также находят себе объяснение в прямолинейном распространении света, представляет камера-обскура. Ящик или комната устраивается так, что свет может входить в них только через одно маленькое отверстие O (рис. 62). В таком случае на противоположной стенке получают изображения предметов, которые находятся перед отверстием. Свет, выходящий из точки A предмета и вступающий в отверстие O , попадает на точку A' и освещает ее. Таким же образом лучи, исходящие из B и C , попадают на стенку в точках B' и C' . Значит, получаемое изображение будет обратным (перевернутым). Оно будет одинаковой величины с самим предметом, если оно получается на том же расстоянии от отверстия, на котором находится предмет; если расстояние изображения от отверстия будет больше или меньше расстояния предмета, то оно соответственно будет больше или меньше самого предмета.

Вообще такое изображение не будет очень ярким, так как сквозь отверстие может проходить лишь небольшое количество света от каждой точки пред-

мета. Если увеличить отверстие, то свет, исходящий из какой-нибудь точки предмета, будет освещать большее место на стене и притом больше, чем само отверстие. В этом случае, конечно, также получается изображение, но оно не отличается резкостью, так как для резкости необходимо, чтобы каждая точка предмета пере-

давалась в изображении точкой же, а не более или менее значительным пятном света. Поэтому отверстие не должно быть слишком велико. Такое изображение можно видеть очень ясно, несмотря на незначительную яркость его, если пробыть несколько времени в темноте, так как тогда глаз делается чувствительнее к тонким оттенкам света.

Рис. 62



Простая камера-обскура.

80. Достоверно неизвестно, кто первый стал пользоваться камерой-обскурой. О ней говорит Роджер Бэкон; может быть, он и изобрел ее. Это был один из первых крупных людей в новых европейских университетах. Он много занимался исследованием света.

Роджер Бэкон был сын состоятельных родителей; родился он в 1214 г. в городке Ильчестере (Сомерсет). Сначала в Оксфорде, а затем в Париже он учился латинскому, греческому, еврейскому, арабскому языкам, а позднее математике, астрономии и естествознанию. Как очень ученый человек, он получил место преподавателя в Оксфорде. Подобно большинству ученых того времени, он был монахом. Невежество и безнравственность его собратьев по ордену (францисканцев) возбудили его неудовольствие и он не удержался от упреков по их адресу на этот счет. Кроме того, он имел неосторожность открыто заявлять, что сочинения Аристотеля мешают всякому прогрессу; он будто бы даже выразился, что „еслибы мог, то сжег все сочинения Аристотеля". А так как, кроме того, он занимался такими вещами, которые были непонятны его современникам (камера-обскура), то врагам нетрудно было обвинить Бэкона в магии и ереси, за что он и был брошен* в тюрьму. Правда, в 1265 г., когда на папский престол взошел один из его покровителей, Климент IV, он был освобожден, но только на несколько лет. В это время он написал свое „Opus majus" о природе; в этой книге Бэкон хотел дать доказательство, что он занимался только обыкновенными вещами. Повидимому, Бэкон также первый выступил с предложением об улучшении календаря, на что, однако, Климент IV не отважился. Время для таких улучшений пришло только триста лет спустя.

В 1278 г. Бэкон по требованию генерала ордена францисканцев был снова осужден во Франции, где он в то время жил, и снова был заключен в тюрьму. Его выпустили на свободу только в 1288 г. Последние четыре или шесть лет жизни он провел в Оксфорде и, повидимому, сожалел о том, что отдал так много труда делу науки.

„Великий труд" Бэкона — удивительная книга. По многим вопросам он не дает подробных объяснений, ограничиваясь только общими указаниями. Но эти ука-

занш идут так далеко, что иные видели в них открытие телескопа, воздушного шара, движущейся паром телеги и т. п. Между прочимъ, в учении о свете в этой книге упоминается также камера-обскура.

81. Позднее камерой-обскурой пользовались для астрономических целей. Именно, Тихо Браге и позже Кеплер употребляли ее для получения изображения солнца. Измеряя поперечник этого изображения и расстояние его от отверстия камеры, они определяли угол зрения (видимую величину) солнца. Камерой-обскурой пользо-

Рис 63



Роджер Бэконъ.

вались также для измерения величины покрытой части солнца или луны во время затмений. Кеплер наблюдал даже на таком изображении солнца пятно, которое принял (ошибочно) за Меркурия.

В лесах с высокими деревьями и густой листвой в ясные дни часто можно наблюдать удлинённые светлые пятна на земле (рис 64). Это—изображения солнца, полученные при помощи камеры-обскуры, отверстием которой является какой-нибудь просвет между листьями, а экраном служит земля. Форма отверстия не играет здесь большой роли, если только оно достаточно мало. Безчисленное количество маленьких пятен света, которыя отвечают бесконечному числу точек предмета, в общем все-таки дают изображение предмета при всякой форме отверстия. Это объяснение было дано еще греческим философом Мавроликомъ. Причиной овальной, а не круглой формы этих пятен является то обстоятельство, что поверхность земли наклонена к направлению лучей солнца. Но если подставить под лучи какую-нибудь плоскость перпендикулярно къ их направлению, то на ней изображения получатся круглыми. Если солнце отчасти закрыто, то соответственно будут, разумеется, изменены и его изображения.

82. Прямолинейным распространением света объясняется убывание его яркости с удалением от источника света. В самом деле, количество света, выходящего из источника A (рис. 65), которое падает на квадратный экран на известном расстоянии от A , при двойном расстоянии придется на экран с вдвое большей стороной, т. е. на поверхность, вчетверо большую; при тройном расстоянии оно покроет экран с втрое большей стороной, имеющий, следовательно, поверхность в девять раз большую, и т. д. Значит, экран одной и той же величины на двойном, тройном и т. д. расстоянии будет получать света в четыре, в девять

Рис 64



Изображения солнца на землѣ въ лѣсу.

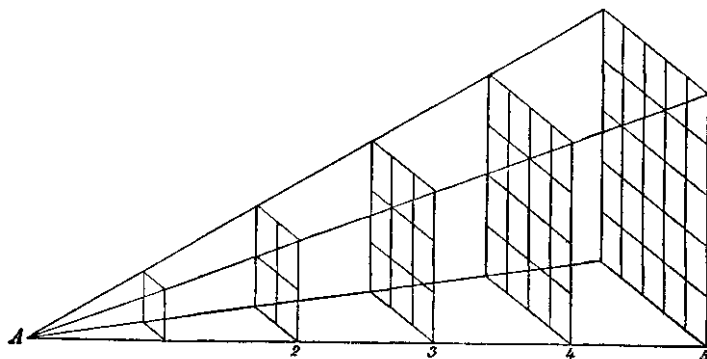
и т. д. раз меньше, чем первоначально. Таким образом, яркость света на двух различных расстояниях от его источника обратно пропорциональна квадратам этих расстояний.

Примеръ. Если я могу, хотя бы с трудомъ, читать книгу на расстоянии 4 м от источника света, то для того, чтобы читать ее на расстоянии 12 м от источника света, последний нужно усилить в 9 разъ.

Закон убывания яркости, разумеется, остается правильным только при предположении, что свет по пути не поглощается.

83. Для того, чтобы сравнить между собою силу света двух источников, можно поместить их на таком расстоянии от экрана, чтобы они освещали его одинаково ярко. По Румфорду (1753—1814) для этого заставляют оба источника отбрасывать на экран тень какого-нибудь стержня (рис. 66). Если действие этих двух источников света не одинаково, то и полученные тени будут не одинаково

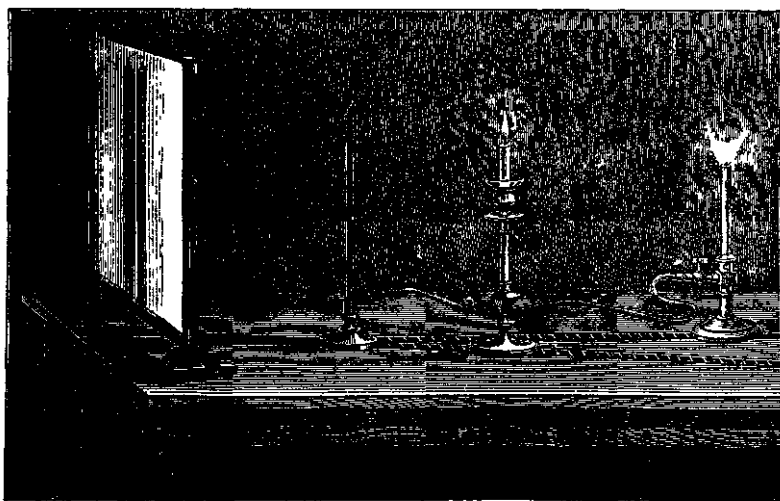
Рис. 65



Убывание яркости съ разстояніемъ.

темны. Тогда нужно отодвинуть тот источник света, который дает более темную тень, или приблизить другой, пока обе тени не станут одинаковыми. Силы света этих источников будут относиться между собою, как квадраты их разстояний от экрана.

Рис. 66



Сравненіе яркостей.

Пример 1. Стеариновая свеча на разстоянии 60 см и керосиновая лампа на разстоянии 210 см дают одинаковыя тени. Сколько свечей может заменить собою керосиновая лампа?

Пример 2. Освещение, которое дает луна, равно освещению от восковой свечи на расстоянии 3 м от стены. Во сколько раз луна ярче восковой свечи? (Отв. 16×10^{15}).

Пример 3. Круглое отверстие камеры-обскуры имеет в диаметре 0,5 мм, а изображение солнца на ее противоположной стенке имеет поперечник 5 см. Таким образом, последнее в 100 раз больше первого. Значит, яркость этого изображения в 10000 раз меньше той яркости, которую дает непосредственно солнце. Если восковая свеча на расстоянии 40 см от стенки дает такую же яркость, какую имеет изображение солнца, то сколько свечей нужно поместить на расстоянии солнца, чтобы произвести такой же световой эффект?

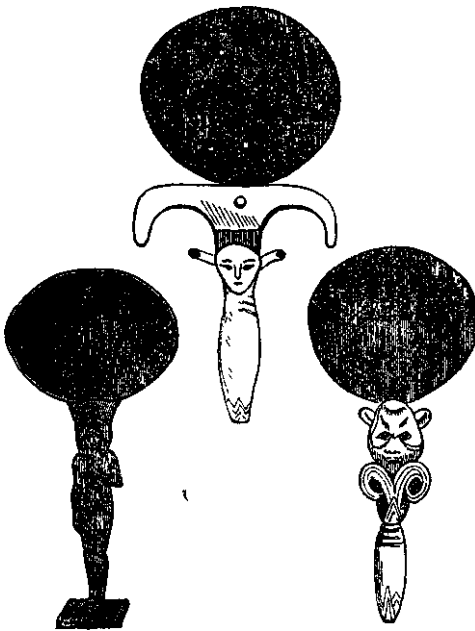
Пример 4. Во сколько раз свет солнца на земле ярче лунного?

Пример 5. Во сколько раз солнце испускает света больше, чем луна?

84. Ясным Ионизмом второго закона, к которому мы теперь переходим, мы также обязаны грекам, хотя человеческий опыт в этом отношении так же стар, как и человеческий род.

Для того, чтобы заметить, что предметы отражаются в спокойной воде, не требовалось высокой культуры. Но нам известно также, что древнейшие культур-

Рис. 67 ные народы имели уже искусственные



металлические зеркала. В египетских гробницах возле мумий были найдены медные зеркала, у Гомера встречаются указания на золотые зеркала, а римляне употребляли уже в древнейшие времена зеркала из бронзы, в начале же нашей эры зеркала из золота и серебра. Хорошей смесью для металлических зеркал является сплав $68\text{Y}_2^{0/4}$ меди с $31\text{Y}_2^{0/4}$ олова. Добавление небольшого количества свинца делает этот сплав более удобным для обработки, а прибавка к нему небольшого количества мышьяку сообщает ему более светлую окраску.

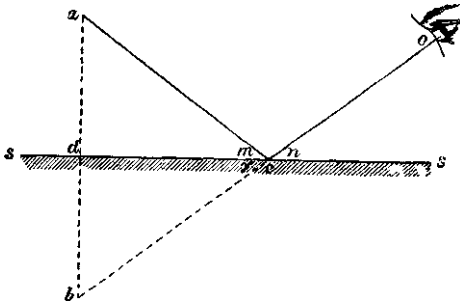
У финикийцев были в употреблении шлифованные зеркала из темного стекла. Прозрачное стекло, на задней стороне покрытое свинцом, вошло в Древнеегипетские металлические зеркала. употреблении вряд ли раньше XIII века по Р. Х. Покрывать стекло на задней стороне амальгамой (из олова и ртути) стали в XIV столетии. Кто был изобретателем этих двух способов, осталось неизвестным. Вероятно, это были ремесленники. В последнее время амальгамированные зеркала все больше и больше вытесняются посеребренными.

85. Непосредственный опыт учить, что плоское зеркало дает изображение, которое лежит позади зеркала на таком же расстоянии от него, на каком сам предмет находится перед ним, считая по перпендикуляру к зеркалу.

Поэтому всякое озеро или пруд с спокойной поверхностью дает изображение более высоких предметов на такой глубине под поверхностью воды, которая равна высоте самого предмета над нею.

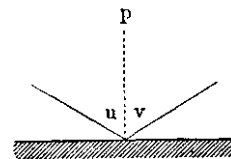
Но только греки в V или IV веке до Р. Х., повидимому, правильно поняли закон отражения. Если a (рис. 68) есть светящаяся точка, ss поверхность зеркала, o глаз, то последний получает от точки a такое впечатление, как будто за зеркалом находится светящаяся точка b , а зеркала вовсе нет, т. е. как будто глаз получает световой луч bo . На самом деле, конечно, это не так, потому

Рис. 68



Отражение светового луча.

Рис. 69



Равенство углов падения и отражения.

что за зеркалом уже нет светового луча, а зеркало непроницаемо для света, по крайней мере металлическое. Таким образом свет проходит не весь путь bo , а только часть его co , к точке же c он приходит по прямой линии от источника света a . Значит, свет приходит из a в c по пути aco . Как же определить этот путь точнее?

Так как ad равно bd и a перпендикулярно к cd , то, как легко видеть, треугольник bed совмещается с треугольником acd , если повернуть его около линии cd . Таким образом, углы t и g должны быть равны. Но углы h и n также равны, так как они образованы двумя пересекающимися линиями (вертикальные углы). Следовательно, углы t и n также должны быть равны. Это положение, которое было найдено греками и которое представляет закон распространения света при отражении, обыкновенно выражают так: при отражении угол падения равен углу отражения.

Впрочем, чаще обозначают названиями углов падения и отражения не углы t и n , а углы h и v (рис. 69), которые образуются падающим и отраженным лучем с перпендикуляром к плоскости зеркала. Само собою разумеется, эти два угла также равны.

86. Если сделать угол отражения углом падения, т. е. перенести светящуюся точку в o (рис. 68), то угол падения станет углом отражения и глаз, помещенный в точке a , получит свет по направлению ca .

Греческий естествоиспытатель Герон Александрийский, живший во II веке по Р. Х. и оставивший превосходное сочинение о воздухе и паре, указал на то, что не только прямолинейный луч идет от светящейся точки к глазу кратчайшим пу-

темь, но что и при отражении световой луч также идет кратчайшим путем. Если a (рис. 70) есть светящаяся точка, $a b$ перпендикулярен к зеркалу и $a d$ равно $b d$, то

am — bm , следовательно, $am o = bmo$;

ac — be , следовательно, $aco = bco$;

$an = bn$, следовательно, $ano = bno$.

Но из трех последних линий $b c o$ есть, очевидно, кратчайшая, так как это есть прямая линия между b и o . Следовательно, и линия aco должна быть меньше, чем линии amo и ano .

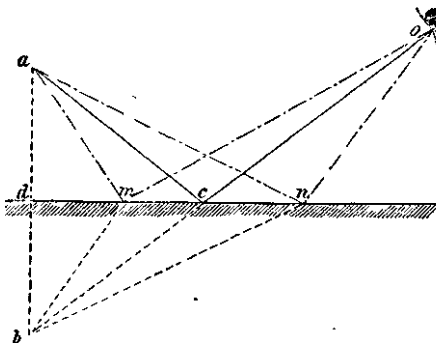
87. Зеркало дает возможность привести луч света к глазу по направлению, совершенно отличному от того, по которому он приходит непосредственно от самого предмета. Этр позволяет с большим успехом применять, зеркало к производству

Рис. 70 оптических

обмановъ.

Если

на-



Отраженный луч идет кратчайшим путем.

ши комнатныя зеркала не дают такихъ обмановъ, то причина этого лежитъ только въ томъ, что мы привыкли къ ихъ отражениямъ, а частью и въ томъ, что они всегда имеютъ раму. Несомненно зеркала играли большую роль въ „магии“, которая процветала въ эпоху арабовъ и даже въ позднейшія столѣтія оказывала хорошія услуги астрологамъ, каббалистамъ и делателямъ золота, въ интересахъ которыхъ было больше отуманивание, чемъ просвѣщеніе публики. И у современныхъ фокусниковъ зеркала

все еще играютъ ту же роль. Однимъ изъ известныхъ „чудесъ“ является „живая голова безъ туловища“. По срединѣ между передними и задними ножками стола помещается отвѣсное зеркало, за которымъ ложится человекъ, просовывающій голову сквозь отверстие въ доскѣ стола, послѣ чего фокусникъ ставитъ на столъ четырехугольный ящикъ, поучая въ то же время публику о чудесныхъ свойствахъ этого ящика (рис. 71). Затемъ онъ снимаетъ ящикъ прочь и показываетъ голову; подъ столомъ, поддерживаемымъ только четырьмя тонкими ножками, не видно ничего. То, что при этомъ принимаютъ за заднія ножки стола, есть не что иное, какъ отраженіе переднихъ ножекъ; точно такъ же полъ, видимый подъ столомъ позади его, есть только зеркальное изображеніе части пола, лежащей подъ столомъ впереди зеркала.

Когда-то большимъ успехомъ пользовались представленія одной женщины, которая, свободно паря въ воздухѣ, могла дѣлать медленные движенія и повороты. Для этого впереди передъ сценой помещалось прозрачное зеркальное стекло въ косомъ положеніи, которое давало отраженное изображеніе b лица a (рис. 72), лежащаго на вращающемся щитѣ. Когда это лицо двигалось въ горизонтальной плоскости, его отраженное изображеніе двигалось отвѣсно. Такъ какъ стекло было прозрачно, то оно давало только слабое изображеніе; чтобы устранить этотъ недостатокъ, фигуру освѣщали невидимой для публики сильной лампой p ,

Другой известный фокусъ представляетъ содѣлать грудь, котораго прострелена

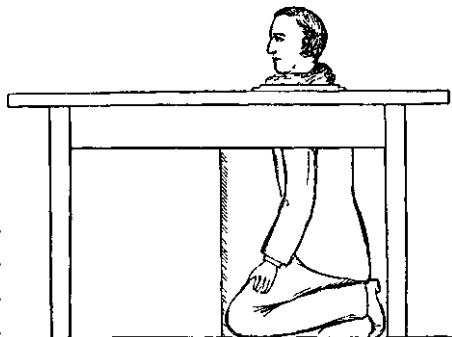
пулей, так что сквозь него можно видеть. Для этого фокуса служит ящик, который имеет сверху форму, указанную на рис. 73. Оптический обман производится здесь чегырьмя зеркалами *m, n, p, z*.

88. Как было уже указано, лучи света, отраженные зеркаломъ, действуют на глаз такъ, как будто позади зеркала находится предмет той же величины и притом в положении симметричном с дей-

ствительным

РИС. 71

предметомъ. Зеркальное изображение правой руки дает левую руку. Написанные в обратном порядке и в повернутом виде буквы, представляющиеся в зеркале в правильном виде, носят название „зеркальной надписи“.



Так как симметричныя линии обла- дают обыкновенно известной красотой, имен- но, в том случае, когда симметрия совер- шенна¹⁾, то отражение часто производит при- ятное впечатление, примером чего может служить отражение ландшафта в озере со спокойной поверхностью.

Такия изображения называются мнимыми, так как лучи, вызывающие в гла- зу это впечатление, идут не из того места, где мы видим изображение.

Но лучи света идут такъ, как будто они исходят из действительного пред- мета; поэтому, попадая на второе зеркало и отражаясь от него, они дают в немъ

Рис 72



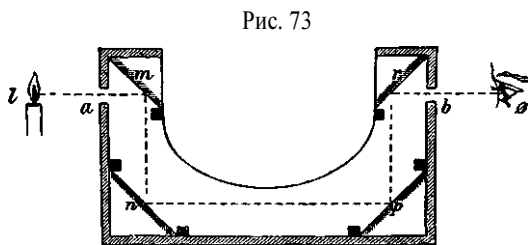
Женщина, парящая в воздухе.

изображение, которое расположено симметрично с первым изображением относи- тельно второго зеркала. Если лучи, идущие от второго зеркала, попадут на третье,

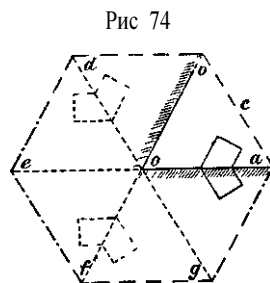
¹⁾ На этом основано приятное впечатление, которое производят на чувство красоты то- ченныя вещи. С какой стороны ни смотреть на нихъ, их контуры по обе стороны от оси все- гда симметричны.

то они дадут в нем третье изображение, симметричное со вторым по отношению к третьему зеркалу и т. д.

На этом основан изобретенный Брюсгером (1781 — 1868) в 1817 г. калейдоскопъ. На рис. 74 oa и ob представляют две стеклянных пластинки одинаковой ширины, наклоненные друг к другу под углом в 60° . Вместе съ третьей, но не отражающей пластинкой c , они помещаются в трубку, имеющую вид зрительной трубы. В том конце трубки, который обращен к глазу, находится отверстие, сквозь которое можно смотреть внутрь трубки. Другой конец ее закан-



Приборъ, при помощи котораго можно смотреть
сквозь человека



Поперечный разрез калей-
доскопа

чивается двумя стеклянными пластинками, между которыми находятся кусочки цветного стекла, камешки и т. п.; при вращении трубки эти предметы постоянно принимают новыя положенія. Повторное отражение их дает очень красивыя правильныя фигуры в форме звезды.

89. Уже в древности было известно, что солнечными лучами при помощи зажигательнаго зеркала можно зажечь огонь. Еще до основанія Рима в Италіи существовал культ Весты, въ котором должен был непрерывно поддерживаться священный огонь. Если он какимъ-нибудь образом погасалъ, то его должны были зажигать вновь чистейшим огнем — огнем солнца; по разсказу Плу гарха это делалось при помощи скафияна — чаши для питья, которая и представляла зажигательное зеркало.

Напротивъ, разсказ о томъ, что Архимед при помощи зеркал издали зажегъ римскій флотъ, повидимому, основан на недоразумѣніи.

90 Зажигательныя зеркала применяли во всяком случае раньше, чем умели объяснять их дѣйствіе. Но закон отраженія в той формѣ, в какой выражали его греки — угол паденія равен углу отраженія,—также вполне объясняет такое дѣйствіе нешюскихъ зеркалъ. Важнейшими изъ зеркалъ с кривою поверхностью являются те, поверхность которыхъ представляетъ часть сферы: вогнуныя (собирательныя) и выпуклыя зеркала (разсеивающія). В первыхъ отраженіе производится внутренней, а в послѣднихъ внешней поверхностью шара.

Давно также было замечено, что в кривыхъ поверхностяхъ получаютъ увеличенныя или уменьшенныя изображенія предметовъ: но только Птолемей попытался дать этому объясненіе при помощи закона отраженія. Арабы также занимались этимъ вопросомъ и теоретически и практически. Однако, полное объясненіе дѣйствія вогнутого зеркала было дано, повидимому, впервые Роджеромъ Бэкономъ. Рис. 75 пред-

ставляет сечение вогнутого зеркала, центр которого лежит в точке c . Лучи, приходящие с очень большого расстояния, например, от солнца, можно считать параллельными. Луч, проходящий через центр c и попадающий на зеркало в a , отражается им в том же направлении ac , так как всякая линия от c к зеркалу перпендикулярна к нему в том месте, где она встречается зеркало. Напротив, луч Ib , образующий с cb угол m , отразится в направлении Br так, что угол n будет равен углу m . Так как лучи Ib и Ia параллельны, то углы z и m также равны. Следовательно, угол n равен углу r . А отсюда следует, что br равно cr . Если же b не слишком далеко от a , то

равны, и точка
по середине
Таким
все лучи
так как в
лучей, то они
сильное

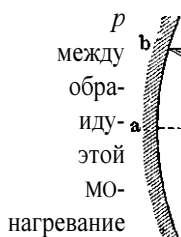


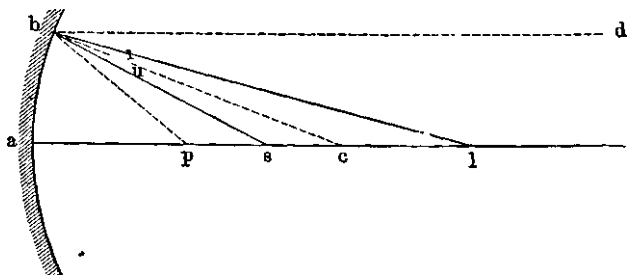
Рис 75 br и ap также почти
лежит, следовательно,
зеркалом и его центром c .
зомъ, в точку p отразятся
щие параллельно Ica . И
Иючке соберется много
гут произвести здесь
и зажечь горючие

предметы, если источник — Фокус вогнутого зеркала
ком света будет, например, солнце

Точка p носит поэтому название фокуса (латинское focus — очаг). Расстояние этой точки от зеркала называется фокусной длиной или фокусным расстоянием зеркала. Для того, чтобы лучи пересекались в точке p довольно точно, зеркало ни в каком случае не должно представлять слишком большой части шаровой поверхности; в противном случае отрезки Br и rc не будут уже составлять ровно половины расстояния ac .

Если светящаяся точка находится не на очень большом расстоянии, например, в / (рис. 76), то один луч из нея опять-таки пройдет через центр c в точку a , откуда он вернется по тому же направлению. Такой луч называется цент-

Рис. 76



Отражение в вогнутом зеркале.

ральным лучемъ. Линия Ia называется также осью зеркала. Какой-нибудь другой луч Ib отразится в направлении bs . А так как Ib лежит ближе к cb , чемъ db , то и отраженный луч bs будет лежать ближе к be , чемъ bp . Точка S , въ которой лучи пересекаются, теперь будет лежать ближе к центру c , чемъ фокусъ. При полющи подобных же соображений отъскаивается положение той точки, въ которой собираются лучи, если светящаяся точка постепенно из бесконечности приближается к зеркалу.

1. Светящаяся точка находится на бесконечности; лучи собираются в фокусе.
2. Светящаяся точка находится ближе к зеркалу, но на большем расстоянии от него, чем расстояние центра; лучи собираются между фокусом и центром.
3. Светящаяся точка находится в центре; лучи собираются также в центре.
4. Светящаяся точка находится между центром и фокусом; лучи собираются в точке, которая отстоит от зеркала дальше, чем центр.
5. Светящаяся точка находится в фокусе; точка, в которой собираются лучи, удаляется в бесконечность.

*6. Светящаяся точка лежит ближе к зеркалу, чем фокус; лучи отражаются от зеркала так, как будто они выходят из точки s' позади зеркала.

Положение точки, в которой собираются лучи, выходящие из светящейся точки l , можно найти при помощи чертежа следующим образом (рис. 78). Сначала проводят центральный луч la , который отражается от зеркала по направлению aI . Для того, чтобы найти направление, в котором отражается какой-нибудь другой луч, например, луч lb , проводят cb' параллельно lI . Средине p' этой линии будет фокусом лучей, идущих по направлению lb и cb' . Значит, луч lb возвращается от зеркала по направлению $b p'$ и пересекает центральный луч в точке s . Следовательно, в этой точке сходятся после отражения лучи la и lb . Поэтому она является фокусом для тех лучей, которые выходят из точки l .

91. Теперь легко понять, каким образом вогнутое зеркало дает изображение предмета. Это изображение будет иметь существенно различный характер, смотря по тому, будет ли предмет находиться дальше от зеркала (рис. 77, 1—4) или ближе к нему (рис. 77, 6), чем фокус.

*) Положение точки, в которой собираются лучи, можно найти при помощи вычисления следующим образом. Пусть радиус ac (рис 76) вогнутого зеркала будет r , расстояние la светящейся точки пусть будет l , а расстояние pa фокуса пусть будет p . В треугольнике lbs линия be делит угол b пополам, а потому можно написать пропорцию

$$bl : bs = cl : cs.$$

Но сторона bl почти равна $al = l$ и сторона bs приблизительно равна $as = s$, следовательно,

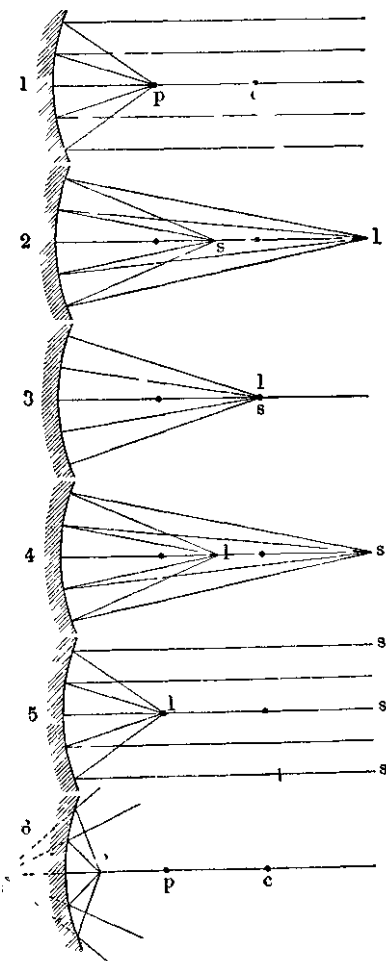
$$l \cdot s = (r - p) \cdot (r - s).$$

Этому уравнению нетрудно, при помощи соответственных преобразований, дать форму

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{l} = \frac{1}{p}$$

1. Таким образом, если из трех величин: s , l и p даны две, то это уравнение легко даст и третью.

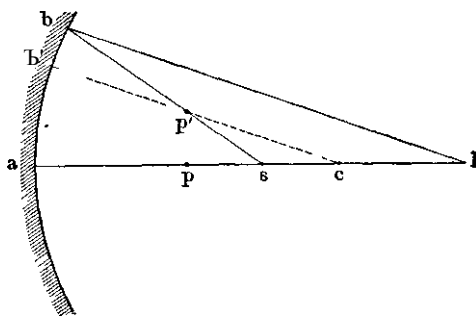
Рис 77



Действие вогнутого зеркала.

Если $a b$ есть наш предмет (рис. 79), то один луч идет от какой-нибудь его точки a к зеркалу через центр c и отражается по тому же направлению; все другие лучи, исходящие из a и попадающие на зеркало, будут встречаться в одной точке a' центрального луча. Таким же образом все лучи, которые выходят из b , соберутся в одной точке b' на центральном луче $b c$, который один только и нарисован на чертеже. Лучи из более близкой точки d собираются в одной точке центрального луча $d c$, и эта точка лежит ближе к центру, чем точки a и b .

Таким образом, в пространстве получается обратное изображение. Если предмет находится от зеркала дальше, чем центр, а изображение, следовательно, ближе к центру, то это рис 78 изображение меньше



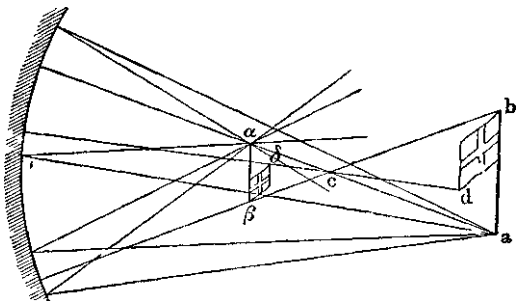
Построение точки, в которой сходятся по отраженнм лучи

предмета; в противном случае оно больше предмета. Кроме того, это есть действительное изображение, а не мнимое, как в плоском зеркале. Лучи, дающие изображение, действительно пересекаются в a' указанном месте. Это изображение можно увидеть на листке бумаги, поместив его на том месте, где получается изображение. Если не принять здесь лучей на какой-нибудь экран, то они пересекаются и идут дальше, а, попадая в глаз, дают последнему

впечатление, будто они исходят от предмета $a b$. Они, действительно, выходят из этого места, но не из предмета, которого здесь, конечно, нет.

При известных условиях такое изображение может производить различные оптические обманы. Так, например, при удачном расположении опыта букег цветовъ

рис. 79 (рис. 80), невидимый наблюдателю



непосредственно, может вызвать такую полную иллюзию, что наблюдателю захочется, пожалуй, понюхать его изображение b' .

Нет ничего удивительного в том, что невежественные современники Роджера Бэкона могли обвинять его в волшебстве, так как они ясно видели в воздухе предметы, которых там

Получение изображения в вогнутом зеркале. Однако не было.

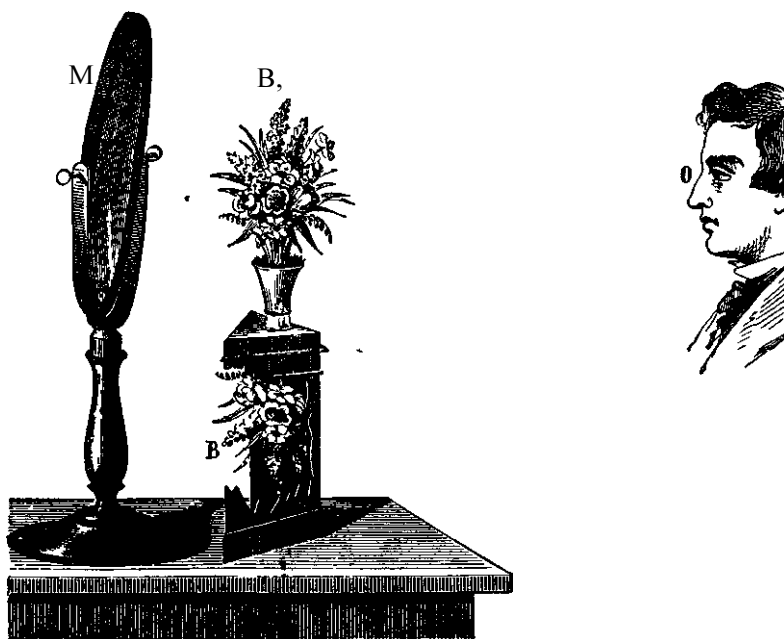
Так как лучи будут идти одним и тем же путем как в одном, так и в противоположном направлении, то на рис. 79 $a b d$ представляет действительное изображение предмета $a b$.

Если предмет находится от зеркала дальше центра, то изображение находится к нему ближе, чем центр, и оно меньше предмета. Если предмет находится ближе к зеркалу, чем центр, то изображение получается увеличенное и лежит от зер-

кала дальше центра. Если предмет находится в самом центре, то изображение находится на том же расстоянии от зеркала и имеет такие же размеры, как и сам предмет. Во всех этих случаях изображение будет действительное и обратное.

Но если предмет AB (рис. 81) будет находится ближе к зеркалу, чем фокус, то центральный луч отразится от зеркала по тому же направлению, по которому он идет к нему, а все остальные лучи, выходящие из A и попадающие на зеркало, отразятся так, как будто они вышли из одной точки a центрального

Рис. 80



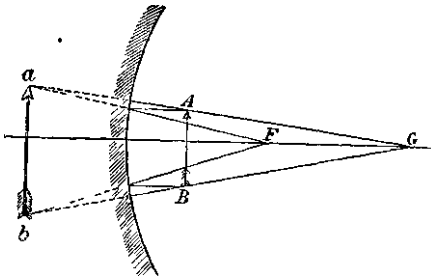
Иллюзия „действительного изображения“.

луча. Точно так же лучи, выходящие из B , после отражения пойдут так, как будто они выходят из точки b центрального луча. Глаз поэтому получит от отраженных лучей впечатление, будто они выходят из ab , где они вовсе и не могли бы быть. Таким образом, получается мнимое увеличенное изображение предмета позади зеркала, расстояние которого от зеркала больше, чем расстояние самого предмета,

92. В выпуклых зеркалах отражение производится внешнею поверхностью шара. Так же, как и в случае вогнутого зеркала, можно убедиться, что параллельные (приходящие из бесконечности) лучи $ии$ (рис. 82) после отражения этим зеркалом направляются так, как будто идут из точки f , лежащей по середине между центром и отражающей поверхностью. Эта точка называется мнимым фокусом выпуклого зеркала. С приближением точки i к зеркалу, падающие на зеркало лучи образуют все большие углы с перпендикуляром к отражающей поверхности; в этом случае они будут казаться выходящими из точки s , лежащей между мнимым фокусом f и зеркалом. Соответственно этому легко понять и образование изобра-

жений. Свет, выходящий из точки a (рис. 83), отражается так, как будто он выходит из точки a , а свет из точки b так, как будто он выходит из JiJ , и т. д. Таким образом, получается мнимое уменьшенное изображение $a\{38$ между мнимым фокусом и зеркалом. Выпуклые зеркала (стеклянные шары), как известно, нередко ставят в садах в виде украшения.

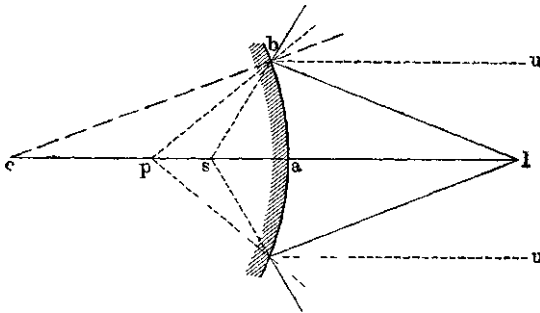
93. На серебряных и т. п. предметах часто попадают поверхности, не имеющие шаровой формы и дающие поэтому искаженные изображения. Если это поверхность выпуклая, Рис 81 то она дает уменьшенное изо-



Вогнутое зеркало, служащее для увеличения.

Смотря на себя в такое зеркало, вы увидите свое лицо растянутым в ширину. Напротив того, если смотреть в зеркало, имеющее форму вертикального цилиндра, то лицо покажется вытянутым в длину. Соответ-

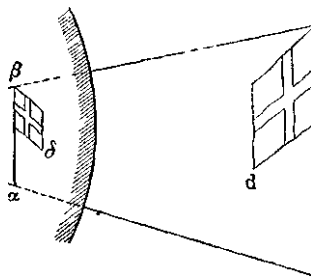
Рис. 82 ственно тому, что такая зеркала мо-



Выпуклое зеркало.

шарики, т. е. со времен финики-

Рис. 83



янь. Говоря вообще, предмет сквозь стеклянный шарик кажется увеличенным.

Указание на это находится у Сенеки (12—06 гг. поР. X.), который говорит об „увеличительной силе“ сосуда, наполненного водой. Очень простое приспособление для увеличения, которым без тру-

Получение изображений в выпуклом зеркале.

да можно пользоваться в лесу и в поле, устраивается следующим

образомъ: въ листке прокалывается маленькое отверстие, на которое помещаютъ капельку воды; она действуетъ такъ же, какъ и стеклянный шарикъ.

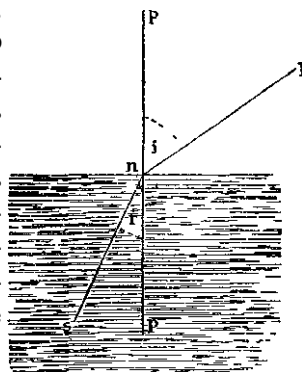
Равнымъ образомъ уже в очень древнія времена было известно, что солнечными лучами можно зажечь огонь, пропуская ихъ сквозь стеклянный шаръ или сквозь сосудъ, наполненный водой.

Въ „Облакахъ" Аристофана Стрепсиадъ говоритъ Сократу, что онъ знаетъ, какъ можно отделаться отъ кредиторовъ. Для этого нужно представленный счетъ положить на солнце, и заставить его таять при помощи стекла, которымъ зажигаютъ огонь¹⁾.

Плиний (23—79 гг. по Р. Х.) пишетъ, что стеклянные шары на солнце могутъ обжигать и прижигать раны, а Лактанцій (умеръ въ 325г.), учитель сына Константина Великаго, пишетъ, что стеклянный шаръ, наполненный водой, можетъ зажечь огонь, хотя вода в немъ остается холодной. Относительно послѣдняго замечанія можно прибавить, что такое же дѣйствіе можетъ производить, не растаивая, шаръ или линза изъ льда. Известны также случаи, когда занавеси загорались отъ поставленной на окнѣ бутылки съ водой.

Однако, о природѣ этихъ процессовъ в древности, повидимому, было известно только очень немного. Первой вкладъ в этомъ отношеніи внесъ Клеомедъ, который нашелъ (§ 53), что лучъ свѣта, переходящій изъ менее плотнаго вещества в болѣе плотное, преломляется такъ, что его новое направленіе становится ближе къ перпендикулярѣ (нормали къ разделяющей вещества поверхности) и что при обратномъ переходѣ свѣтъ идетъ темъ же путемъ, т. е. в этомъ случаѣ онъ удаляется отъ перпендикуляра. Если вверху находится менее плотное вещество, а внизу болѣе плотное, то путь луча будетъ *Ins* (рис. 84), безразлично, будетъ ли лучъ идти сверху внизъ или снизу вверхъ. Такимъ образомъ, уголь, образуемый лучемъ с перпендикуляромъ къ разделяющей *Рис. 84*

вещества поверхности, в болѣе плотной средѣ меньше, чемъ в менее плотной. Птолемей, принимавшій во вниманіе при своихъ наблюденіяхъ высотъ небесныхъ свѣтилъ преломленіе лучей в атмосферѣ, дѣлалъ опыты съ целью определить величину преломленія свѣта при переходѣ изъ воздуха в воду, изъ воздуха в стекло и изъ воды в стекло. Здѣсь мы имѣемъ одинъ изъ чрезвычайно рѣдкихъ примеровъ, когда древніе не удовлетворялись одними наблюденіями, а прибегали къ производству опытовъ. Птолемей нашелъ, что при переходѣ изъ воздуха в воду уголъ преломленія φ равенъ 0.76 угла паденія $\angle$. Для перехода изъ воздуха в стекло онъ нашелъ $\varphi = 0.67 \angle$, а для перехода изъ воды в стекло преломленіе свѣта $\varphi = 0.88 \angle$.



Лучъ свѣта, который переходитъ изъ воздуха в стекло и при этомъ преломляется такъ, что $\varphi = 0.67 \angle$, отклоняется какъ разъ настолько, насколько онъ отклоняется при переходѣ сначала изъ воздуха в воду, а затемъ изъ воды в стекло.

¹⁾ Конечно, счетъ, написанный на покрытой воскомъ дощечкѣ *Ллр. пер.*

В самом деле, если этот угол сначала уменьшается в отношении $O'76$, а затем последний угол уменьшается в отношении $O'88$, то в общем угол уменьшается в $O'76 \times O'88$ раз, что составляет почти точно $O-67$.

Арабский физик Альгазень, живший в Испании в XI веке и писавший по оптике, в существенном опирается на Птолемея, но дает также и несколько новых соображений. Так, он замечает, что отношение между углом падения и углом преломления несколько изменяется для различных положений луча и что, следовательно, закон, определяющий величину преломления, не так прост, как принимал это Птолемей. Однако, прошло еще несколько веков, прежде чем был открыт истинный закон.

95. Между тем арабы и европейцы продолжали заниматься стеклянными шарами и линзами, при помощи которых можно было получать чудесные изображения, возбуждавшие огромный интерес в те проникнутые мистицизмом времена. Некоторые старались объяснить образование этих изображений математически, опираясь на то, что было известно о преломлении света от Клеомеда и Птолемея, другие же старались сами исследовать свойства изображений при помощи опытов со стеклами.

В последнем отношении особенно выделялся в это переходное время Франциск Мавролик из Мессины (1494—1575). Он был сыном одного греческого беглеца из Константинополя (§ 60). Хотя Мавролик принадлежал к духовному сословию, он занимался также и многим другим, был директором монетного двора и пользовался глубоким уважением ученых и высокопоставленных людей. Он написал большой математический труд, в котором собрал все важное, что нашел в древних и новых сочинениях. Ему также принадлежит сочинение по оптике, в котором было много нового, например, объяснение того, почему неправильные отверстия в листе дают круглые изображения солнца. Повидимому, он первый заметил, что эти изображения солнца во время затмения имеют форму серпа (§81).

Мавролику принадлежит также попытка математического объяснения того, каким образом шары и линзы могут давать изображения.

96. Если луч света проходит сквозь стеклянную пластинку с параллельными сторонами, то при входе в нее он преломляется, но при выходе испытывает такое же преломление в обратную сторону; таким образом, направление выходящего луча параллельно направлению входящего (рис. 85), последний только несколько смещен относительно первого и притом тем больше, чем косее падает луч.

97. Но если поверхность m , на которую падают лучи, и поверхность l , из которой они выходят, не параллельны между собою, а образуют часть так называемой призмы (рис. 86) с ребром k , то при вступлении в стекло луч приближается к перпендикуляру p , возставленному в точке его падения, а при выходе удаляется от перпендикуляра q и, таким образом, выходит в направлении s . Значит, если луч света проходит сквозь кусок стекла, ограниченного двумя непараллельными поверхностями — сторонами призмы —, то луч удаляется от преломляющего ребра призмы.

98. Если лучи света проходят сквозь линзу, ограниченную шаровыми поверхностями и в середине более толстую, чем на краях, то луч, проходящий сквозь средину линзы, сохраняет свое направление, так как те части поверхности, сквозь

которые он входит и выходит, параллельны между собою (рис. 87). Напротив того, другие лучи, как Ia и Ib , проходят через части поверхности, наклонные друг к другу. Поэтому они удаляются от „преломляющего ребра призмы“ и встречаются с первым лучом в точке s . Те лучи, которые проходят сквозь Нижнюю часть линзы, как Ic и Iv ?, также встречаются с остальными в точке S .

Рис 85

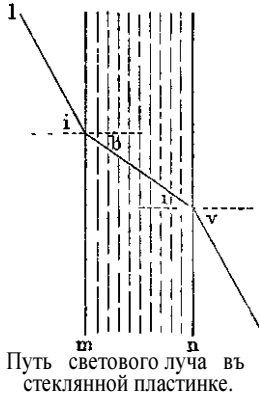
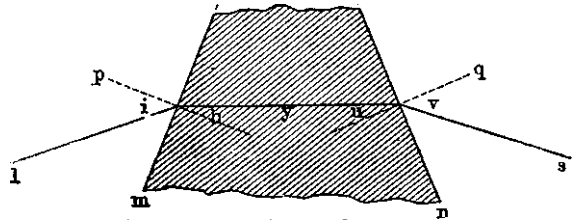
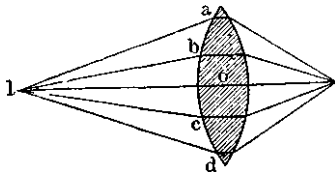


Рис. 86



Сходное с этим действие производят все линзы, которые в середине толще, чем на краях (рис. 88, 1—3 слева). Такие линзы соединяют лучи в одной точке или, по крайней мере, делают их менее расходящимися. Они являются собирательными

линзами. Действие такой линзы зависит как от



Собирающее стекло.

Ее формы, так и от вещества, из которого она сделана. Даже различные сорта стекла различны по своему действию. Отношения между углами падения и отражения для различных сортов стекла различны, а не одинаковы, как это думал Птолемей. Если свет приходит с бесконечного расстояния (рис. 89, 1), то он собирается в одной точке s , в так называемом фокусе линзы. Расстояние этой точки от линзы называется фокусным расстоянием линзы или ее фокусной длиной. Чертежи рис. 89, на которых точками отмечены фокусное и двойное фокусное расстояния, представляют следующие случаи:

Рис. 88

2. Если / находится на конечном разстоянии, НО дальше, чем на двойном² фокусном разстоянии, ТО 5 помещается дальше фокуса, НО ближе, чем на двойном фокусном разстоянии от линзы.

3. Если / находится на разстоянии двойной фокусной длины, ТО 5 также находится на двойном фокусном разстоянии.

4. Если / лежит дальше от линзы, чем фокус, НО ближе, чем на двойном фокусном разстоянии, ТО s помещается дальше, чем на двойном¹ фокусном разстоянии.

5. Если / находится в фокусе, ТО s уходит на бесконечное разстояние.

6. Если / находится ближе, чем на фокусном разстоянии, ТО лучи вообще не собираются, а выходят из линзы так, как будто идут из точки s' , которая лежит от линзы по одну сторону со светящейся точкой, НО дальше от последней, чем светящаяся точка¹).

99. Так как собирательная линза производит на лучи света такое же действие, как и вогнутое зеркало, ТО подобным же образом она дает изображения предметов¹, из которых выходит падающий на нее свет (рис. 90).

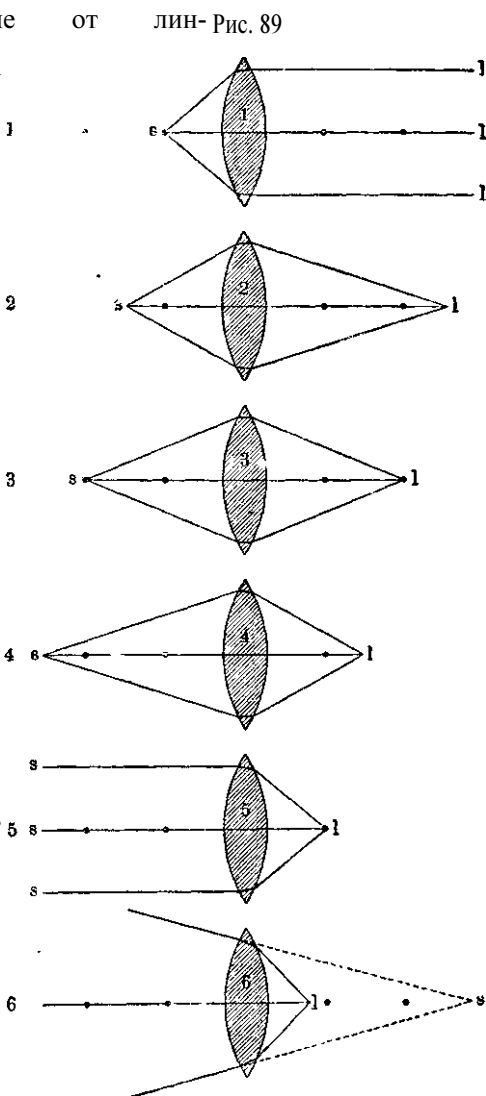
-Светь, который выходит из точки a , -собирается в точке a центрального луча. Таким же образом свет, выходящий из b и d , собирается в точках p и S . На чертеже нарисованы только два центральных луча. В результате получается обратное изображение, которое будет меньше, такой же величины, или больше, чем сам предмет, соответственно тому, находится ли последний дальше, чем на двойном фокусном разстоянии, как раз на двойном фокусном разстоянии или ближе.

Эти изображения действительны. Лучи соединяются в одной точке и поэтому

¹) Если известна фокусная длина собирательной линзы, ТО положение точки соединения лучей, как и при вогнутом зеркале, можно найти при помощи рисунка или формулы

— + — = — • Каково, например, будет разстояние точки соединения лучей, если фокусная

длина составляет 12 см, а разстояние светящейся точки 30 см?



Действие собирающего стекла.

могут дать на экране изображение. Если они пойдут дальше и попадут в глаз, то произведут в нем впечатление, что они выходят из предмета a (рис. 90), не существующаго, однако. Если поместить экран слева от a (рис. 91), то здесь свет от отдельных точек собирается еще не вполне. Если же поместить его справа от a (рис. 92), то здесь лучи уже начинают расходиться. В обоих случаях получится нерезкое, размытое изображение.

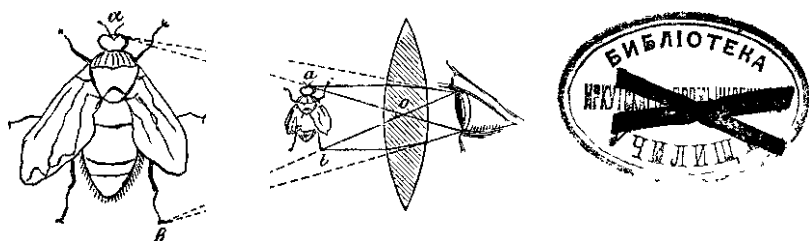
100. Если предмет находится ближе к линзе, чем фокус, то выходящие из линзы лучи не собираются, а идут от неа так, как будто они выходят из

Рис. 90

Получение изображений при помощи собирающего стекла.

точки, которая лежит от линзы дальше, чем сам предмет (рис. 89, б). Таким образом, выходящий из линзы свет будет производить на глаз впечатление, что он исходит из a (рис. 91); следовательно, в этом случае линза будет действовать, как увеличительное стекло или лупа (ср. § 94).

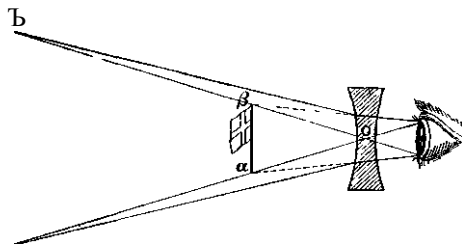
Рис. 91



Собирающее стекло, служащее для увеличения.

101. Те линзы, которые по середине тоньше, чем на краях (рис. 88, 1—3 справа), очевидно, расходят лучи, идущие из одной точки a (рис. 92). В самом деле,

Рис. 92



Расходящее стекло для уменьшения

в это время как центральный луч проходит сквозь такую линзу непреломленным, в нижней части линзы лучи попадают на поверхности, преломляющее ребро кото-

рых лежит выше. Поэтому такие лучи отклоняются вниз. Таким же образом лучи, падающие на верхнюю часть линзы, будут отклоняться вверх. Значит, лучи будут выходить из линзы так, как будто они идут из точки a . Таким же образом лучи, приходящие от точки b , будут идти как будто из точки (3) . Поэтому рассеивающая линза дает глазу уменьшенное мнимое изображение a $|3$ предмета.

102. Современник Мавролика, Джамбаттиста делла Порта вызывал большое изумление чудесными явлениями, которые он производил посредством таких линз.

Порта родился в Неаполе в 1538 г. и умер в 1615г. Это была огненная натура с большою склонностью к мистическому. Он был автором 24 драм и в возрасте 15 лет написал „Естественную магию" в четырех томах, трактовавшую о самых различных естественных и сверхъестественных предметах. Этот труд появился в нескольких изданиях и был переведен на итальянский, испанский, французский, немецкий и арабский языки. Позднее появилось дополненное издание этой книги в 20 томах, которое, однако, не получило такого широкого распространения, как первые издания.

Порте, кроме того, принадлежит заслуга основания первой академии наук в Италии. В то время <в Италии возник целый ряд ученых обществ, которые по имени школы, основанной Платоном, назывались академиями. В академии Порты было постановлено, что ее членом нельзя быть, не создав или не открыв чего-нибудь нового. Однако, этой академии не суждено было долго существовать.

Один француз, поссорившись с Портой, обвинил его в тириготовлении дьявольской мази; а так как в то время церковь относилась к естественным наукам очень ревниво и так как Порта, кроме того, занимался и другими чудодейственными вещами, то это обвинение могло стать для него опасным; поэтому он поехал в Рим и там добился того, что дальнейшим жалобам на него перестали давать ход. Однако, его академия была закрыта.

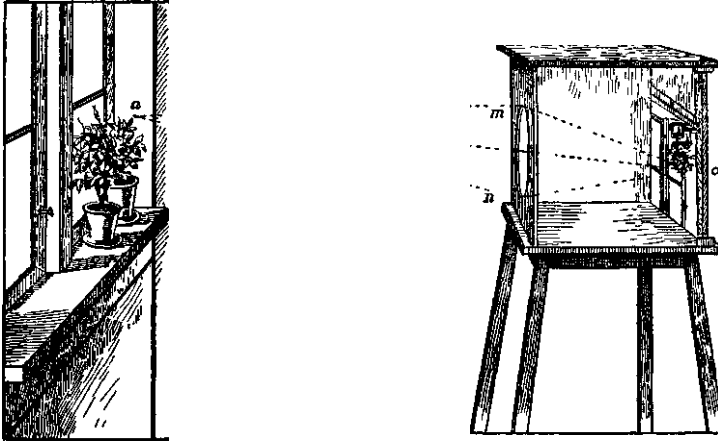
Порта описывает между прочим камеру-обскуру, снабженную собирательной линзой. Повидимому, это важное усовершенствование принадлежит ему самому. Вместо простого маленького отверстия в стенке ящика или комнаты помещают собирательную линзу $m\ n$ (рис. 93) так, чтобы она давала на противоположной стене или на экране резкое изображение внешних предметов. В таком случае весь свет, выходящий из a , дает не пятно, а точку a ; и так как каждая точка предмета передается в изображении также точкой, то получается резкое изображение. Кроме того, это изображение имеет большую яркость, так как в камеру-обскуру от каждой точки предмета попадает большой конус map лучей света.

Однако, для того, чтобы изображение было резким, воспринимающий его экран, должен находиться на надлежащем месте. А положение этого места зависит от расстояния предмета. Чем больше последнее, тем ближе к линзе получается изображение. Поэтому нельзя поместить экран так, чтобы и близкие и далекие предметы одновременно давали резкие изображения.

В настоящее время такими камерами пользуются фотографы. Прежде всего заднюю стенку ее (матовое стекло) помещают так, чтобы на ней получалось резкое изображение снимаемого предмета. Если снимают группу лиц, то стараются раз-

местить их по возможности на одинаковых расстояниях от камеры. Получив на матовом стекле резкое изображение, заменяют матовое стекло приготовленной определенным образом пластинкой, на которую изображение действует так, что позднее, при помощи известных химических процессов, на пластинке можно проявить это изображение и закрепить его.

Рис 93



Камера-обскура с линзой.

Порта Июлчал изображения не только предметов, но также и картин на стекле. При этом он изобрел *Laterna magica* (волшебный фонарь). Внутри этого прибора, в закрытом пространстве находится лампа, а изображение проецируется вне камеры.

На рис. 94 *m* представляет линзу (их обыкновенно бывает несколько), *ab* стеклянную пластинку с прозрачной картиной. Так как обыкновенно изображение *AB* приходится воспроизводить в большом масштабе, то весьма существенно, чтобы *a b* было освещено очень сильно. Линза *L* и вогнутое зеркало *M* и служат для того, чтобы возможно сильнее осветить воспроизводимую на экране картинку.

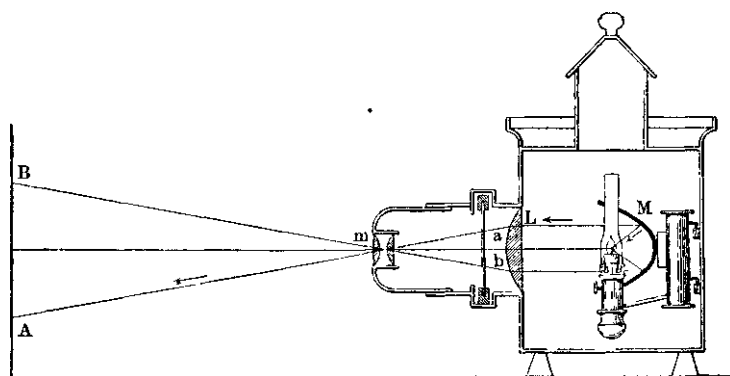
Иногда фокусники показывают такие картины на большом экране, пользуясь для этого нередко даже двумя фонарями; работая ими одновременно или поочередно, можно получать, действительно, превосходные картины.

Этот прибор в последнее время получил, под названием скиоптикона, еще большее значение. Он делается тщательнее, чем обыкновенная *Laterna magica*, и употребляется для того, чтобы показывать более многочисленной аудитории изображения произведений искусства, картины астрономического и физического содержания, ландшафты и т. п. В продаже имеется огромное количество фотографий на стекле (диапозитивов)⁴ для этой цели.

Если такой прибор сделан очень тщательно, так что может давать резкие изображения при очень значительном увеличении, то им можно пользоваться для показывания микроскопических объектов. Для этого требуется очень сильное освещение, которое можно получить при помощи солнечного, электрического или Друммондова света.

103. Теоретики и практики, усердно занимавшиеся, как было указано, изучением изображений, которые получаются от зеркал и линз, не могли не натолкнуться на мысль соединять несколько зеркал или линз, чтобы получать изображение от изображения. Из таких комбинаций и выработались постепенно зрительная труба и микроскоп. Честь их изобретения не принадлежит одному определенному лицу. Это, однако, имеет второстепенное значение, когда мы имеем в виду познание самых законов света, которое имеет больше значения, чем все услуги, оказанные этими инструментами как в практической жизни, так и в науке.

Рис 94



Laterna magica или волшебный фонарь.

Изобретение зрительной трубы уходит в область сказочных преданий. Согласно одному магометанскому преданию, на александрийском маяке находилось огромное зеркало, при помощи которого можно было видеть корабли, отплывавшие из Греции. Однако, вследствие кривизны земли корабли можно было бы с этого маяка видеть только уже, довольно далеко от Греции. Если это предание основано вообще на чем-нибудь действительном, то, конечно, прежде всего нужно предполагать, что там была комбинация большого вогнутого зеркала с линзой. Нечто подобное повествуется и о большой башне в Рагузе. Иногда изобретателем зрительной трубы называют Роджера Бэкона; но из его книги можно, пожалуй, заключить только, что он представлял себе возможность сочетания линз и зеркал, хотя сам едва ли владел таким прибором.

Гораздо яснее выражается об этом итальянский врач Фракасторо из Вероны (1483—1553). В своем труде, появившемся в 1538 г., он говорит, что можно видеть предметы гораздо ближе и в увеличенном виде, положив две линзы одну над другой. Если понимать это „над“ буквально, то, конечно, это может означать микроскоп.

Еще яснее пишет об этом в своем большом издании „Естественной магии“ Порты в 1589 г.: „Посредством вогнутого стекла ясно видны далекие предметы, при помощи выпуклого — близкие. Но если правильно соединить оба эти рода стеклы, то как близкие, так и далекие предметы кажутся больше и яснее. Я оказал большую услугу многим своим друзьям, у которых были плохие глаза, и дал им возможность видеть ясно“. Эти слова едва ли могут вызывать сомнения;

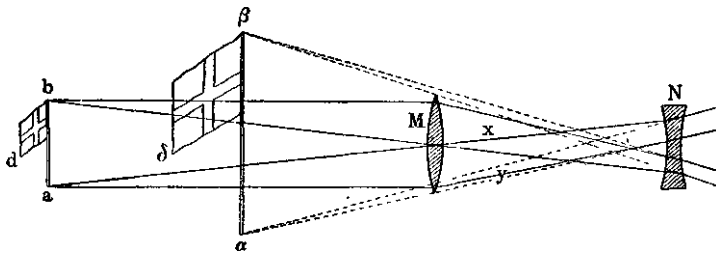
с другой стороны, однако, почти непонятно, чтобы человек, подобный Порте, был знаком с таким важным изобретением и не описал его подробно, не оповестил о тех открытиях, которые он мог сделать на небе со сколько-нибудь порядочной зрительной трубой. Конечно, зрительная труба, которую владел Порт, должна была увеличивать очень мало. Но его книга, нашедшая широкое распространение, может быть, способствовала тому, что этим вопросом заинтересовались и другие.

Очевидно, в результате всех этих занятий и явилось то, что в 1608 г. голландскому правительству было заявлено требование о выдаче патента на зрительную трубу почти одновременно с нескольких сторон. То обстоятельство, что правительство не хотело дать патента ни одному из соискателей, а желало заплатить гонорар за хорошо сделанный инструмент одному из них, доказывает, может быть, лучше всего, что ни одного из соискателей и нельзя было считать настоящим изобретателем. Если иногда называют изобретателем Липперсгея, Меция или Янсена, то это, конечно, следует понимать так, что каждый из них трех изготовил годный к употреблению инструмент. Во всяком случае эти работы заслуживают всей нашей признательности, и название зрительных труб этого рода, которые впервые тогда появились в Голландии, именем „Голландского" телескопа вполне справедливо.

Когда в Италию дошли слухи об этих инструментах, один телескоп такого же рода соорудил Галилей. Поэтому его называют также Галилеевой зрительной трубой.

Галилеева труба состоит из двух линз: собирающей M (рис. 95) и рассеивающей N . Собирающая линза должна давать маленькое изображение предмета abd . Но еще прежде, чем получится это изображение, лучи попадают на рассеивающую линзу N , которая дает им другое направление.

Рис. 95



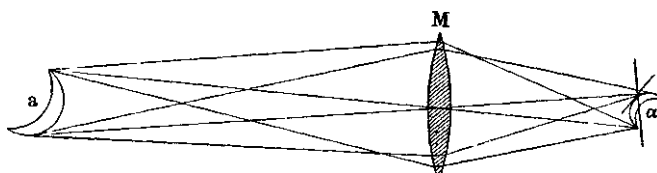
Голландская или Галилеева зрительная труба.

Таким образом, лучи ax и Iy не соединяются, а отклоняются этой линзой вверх (в сторону от преломляющего ребра) и в то же время рассеиваются, так что кажется, что они идут из точки a . Таким же образом лучи, идущие от b и d , производят на глаз впечатление, будто они идут от f и S . Поэтому предмет кажется ближе и больше. Линзы заключаются в трубку, которая устраняет посторонний свет. Длину трубки можно менять и этим устанавливать прибор сообразно расстоянию предмета и устройству глаза. А что это необходимо, было известно уже Кеплеру в 1610 г.

104. В 1611 году Кеплер издал оптику, в которой предложил несколько других зрительных труб. Важнейшее из этих предложений было осуществлено несколькими годами позже его земляком, ученым иезуитом Шейнером (1575—1650). Эта зрительная труба получила название Кеплеровой или астрономической. Она состоит из двух выпуклых линз (рис. 96). Одна из них M дает действительное изображение предмета a . Это изображение рассматривается другою линзой N , очень выпуклой, действующей, как обыкновенное увеличительное стекло.

Получаемое изображение — обратное. Поэтому такая зрительная труба неудобна для рассматривания земных предметов. Зато она имеет и некоторые преимущества перед голландской. Например, здесь на том месте, где получается изобра-

Рис. 96



Кеплерова или астрономическая зрительная труба.

жение, можно поместить перекрестные нити; их можно при помощи линзы видеть одновременно с изображением предмета и, благодаря этому, можно направлять зрительную трубу на предмет очень точно. Возможно также помещать на том же месте трубы тонкие нити, передвигаемые при помощи винта. Эти нити можно устанавливать так, чтобы они касались определенных точек изображения, например, солнечных краев и, таким образом, при помощи винта можно измерить величину этого изображения. Это необычайно ценное свойство Кеплеровой зрительной трубы, которым не обладает голландская труба, было открыто, однако, только 30 или 40 годами позже.

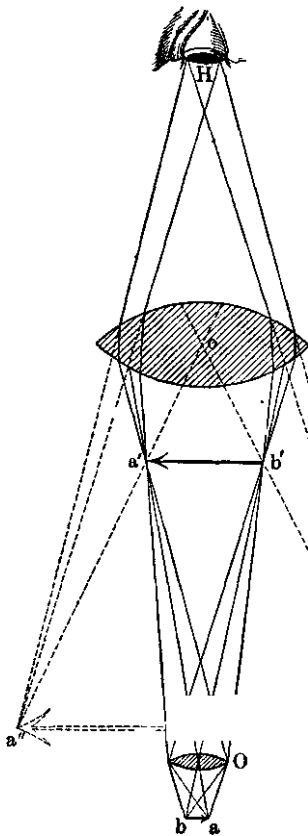
Другую форму зрительной трубы указал в 1645 г. капуцинский монах Ширль в Богемии. Она состоит из четырех выпуклых линз, из которых две внутренние переворачивают (обратное) изображение. Таким образом, в эту зрительную трубу предметы представляются так, как мы видим их непосредственно, почему она и получила название земной зрительной трубы. Ширль первый назвал линзу, обращенную к предмету, объективом, а обращенную к глазу окуляром.

105. Раньше уже было упомянуто, что выпуклая линза или целый шар могут служить увеличительным стеклом (§§ 94, 100). Вставленная в оправу, такая линза называется лупой, а если она снабжена еще штативом, то — простым микроскопом. Сложный микроскоп был изобретен одновременно с зрительной трубой, и большие заслуги в деле его сооружения принадлежат опять-таки голландцам, а именно Иенсену.

Небольшая очень выпуклая линза O (теперь вместо нея берут соединение нескольких линз) дает действительное изображение $a'B'$ предмета ab (рис. 97); это

изображение рассматривается в линзу o , как предмет рассматривается в лупу. Получается мнимое изображение $a''b''$. Так как изображение гораздо больше предмета, то его приходится сильно освещать; лучше всего это достигается при помощи света, падающего на препарат, лежащий на стеклянной пластинке, снизу. Для того, чтобы получить все лучи, идущие из окулярной линзы, глаз должен находиться на том месте, которое указано на чертеже. Все это устанавливается на штативе, который изображен на рис. 98. Трубка находится против отверстия в столике, на котором лежит стеклянная пластинка с препаратом и к которому можно приближать трубку больше или меньше посредством винта. Ниже этого столи-

ка помещается зеркало, которое можно повернуть в любое положение; оно служит для того, чтобы отбрасывать свет лампы или дневной свет сквозь препарат в трубку. Непрозрачные предметы освещаются сверху при помощи особой линзы. Для удобства микроскопу можно давать более или менее наклонное положение.



106. Так постепенно создавался целый ряд полезных инструментов, основанных на преломлении света, несмотря на то, что закон преломления света еще не был точно известен. Альгазен знал (§ 94), что формулированный Птолемеем закон неправилен. По мнению Птолемея отношение между углом падения и углом преломления всегда должно оставаться одним и тем же, например, для воздуха и воды оно должно быть всегда 4:3.

Наконец, талантливый молодой голландец Виллиброрд Снелль или Снеллиус, родившийся в 1591 г., профессор математики в Лейдене (ум. 1626 г.), нашел этот закон. Однако, опубликован он был впервые Декартом в 1637 г. и даже без указания, кем он был открыт, так что часто открытие закона приписывали са-

мому Декарту. Снеллиус написал об этом законе книгу, не напечатанную, однако, и, вероятно, познакомил с нею Де-

карта во время его пребывания в Голландии. Этот закон можно формулировать следующим образом (рис. 99): если от точки o , в которой луч проходит границу между взятыми средами, отложить на обеих частях луча равные отрезки oI и os , провести чрез I HS линии, параллельные разделяющей поверхности, то отношение этих двух параллельных отрезков для каждой пары веществ имеет вполне определенное

значение (например, для воздуха и воды оно составляет 4:3), независимо от того, какой угол составляет луч с границей, разделяющей взятые средины¹⁾.

107. Если луч ao (рис. 100) будет идти в направлении $oa^\wedge$, луч bo в направлении oB , луч co в направлении oC_1 и горизонтальный луч do в направлении OCf_1 , так что *огнули* Od_1 относится к $^\wedge_1B$, как 4 к 3, то эти лучи будут и в обратном направлении проходить тем же путем. Луч, который приходит к поверхности, разделяющей средины, в направлении $d^\wedge o$, таким образом выходит из нея горизонтально, т. е. в направлении поверхности воды. Повидимому, Кеплер²⁾ первый задал вопрос и указал, как должен идти

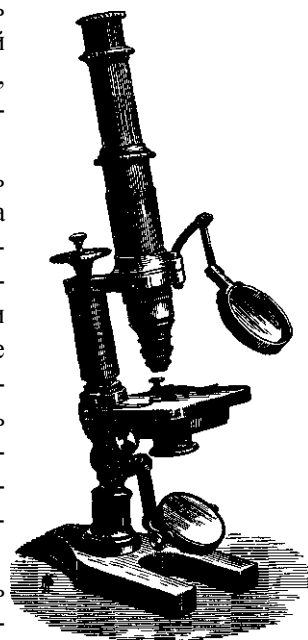
Рис 98

в воде луч, который, как eo , идет еще ближе к поверхности. Согласно закону преломления света такой луч не может перейти в воздух. Кеплер³⁾ нашел, что он полностью отражается от разделяющей поверхности и притом по общему закону отражения.

Значит, в спокойную воду весь свет вступает по направлениям, отклоняющимся от перпендикуляра падения ни в каком случае не дальше Od_1 . Следовательно, в этом направлении рыба представляется ей горизонт, рисующийся ей в виде круга на поверхности воды. Дальше вверх она видит — как сквозь большое окно — те предметы, которые находятся выше в воздухе, а равно и предметы, находящиеся в воде в этом направлении. Но дальние в сторону, т. е. вне этого круга, поверхность воды представляет совершенное зеркало, в котором отражается все, что находится под водою (рис. 101).

Вследствие полного внутреннего отражения луч света не может пройти сквозь призму, стороны которой образуют достаточно большой угол. Пусть, например, линия ab (рис. 102) образует с двумя поверхностями призмы oa и ob такие малые углы, что световой луч не может выйти из призмы и претерпевает полное внутреннее отражение; очевидно, то же будет иметь место и для всякого другого луча mn он сможет войти в призму по направлению nb , но в точке b подвергнется полному внутреннему отражению.

108. Как сказано выше, вплоть до XVII столетия было известно только два закона о лучах света: закон их прямолинейного распространения и закон отражения; кое что было известно и о третьем законе — законе преломления, который был понят вполне, однако, только уже в этом столетии. Но греки и их преемники

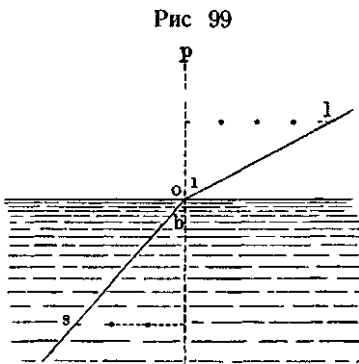


*) Математически этот закон выражается очень просто Если / есть угол падения, b угол преломления, а n постоянное отношение, то

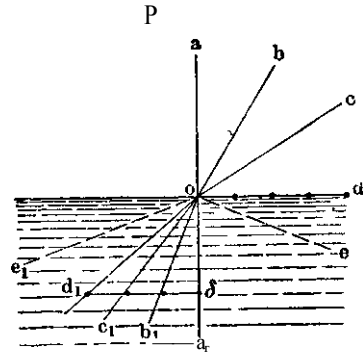
$$\frac{\sin u}{\sin b} = n.$$

умели хорошо воспользоваться и этими немногими фактами. К этому же периоду относится и постепенное ознакомление с устройством глаза.

Об устройстве глаза греки не знали, повидимому, ничего. Аристотель думал, что между глазом и предметом должно быть известное количество воздуха для того, чтобы* свет мог распространяться; в самом деле, если держать предмет совсемъ



Закон преломления света



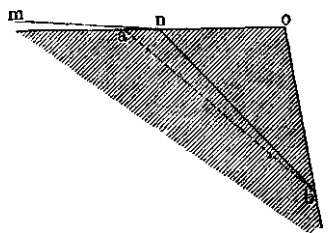
Полное внутреннее отражение.

близко к самому глазу, ТО его нельзя видеть ясно Евклид думает, что луч света, дающий нам возможность видеть, есть бесконечно-тонкая (математическая) линия. Напротив того, Альгазен не довольствуется умозрением; он разсекает глаз и описывает его различные части. Он полагает, что от каждой точки предмета должен выходить не один луч, а целый^ пучек лучей, конус лучей, вступающий

Рис. 101



109. Честь первого указания, что глаз есть род камеры-обскуры, принадлежит Леонардо да Винчи. Он родился близ Флоренции в 1452 г. В молодости Леонардо провел несколько лет в Египте на службе Каирского султана, позднее жил в Верхней Италии, где прославился, как живописец, скульп-



торь, архитекторь, музыкант и математикъ. Ему принадлежит сочинение о живописи, при составлении которого он широко пользовался своими математическими и физическими познаниями. Леонардо умер во Франции в 1519 году, куда был призван Франциском I за три года до того.

Леонардо была известна только простая камера-обскура (без линзы) и потому ему не было доступно полное объяснение действия глаза.

Полное внутреннее отражение С другой стороны, Делла Порта, хотя ему уже в призме. была известна усовершенствованная форма камеры-обскуры (с линзой), в существенномъ, повидимому, не ушел дальше Альгазена, такъ как и он считает хрусталик тем органомъ, на который действует светъ.

Впервые правильно определяет роль хрусталика Мавроликъ; он говорить, что хрусталик действуетъ, как стеклянная линза, тогда как зрительное восприятие должно возникать в глазу далыле, позади хрусталика. Если эта линза имеет слишком большую кривизну, то ея действие нужно исправить при помощи отшлифованных вогнутых очков (близорукий глазъ). Если же, наоборотъ, ея кривизна слишком мала, то этому можно помочь выпуклыми стеклами (дальнозоркий глазъ"). Впрочемъ, очки были известны уже с XIII века Их изобретателем обыкновенно называют флорентийца Сальвино дельи Армати (ум. в 1317 г.); об этомъ, по крайней мере, свидетельствует надпись на его могиле. Конечно, это открытие было сделано без ясного понимания вопроса, а только благодаря случаю и пробамъ.

110 Наконецъ, Кеплер дал правильное объяснение функции глаза, стоившее ему, по его собственным словамъ, трех лет работы. Он говорить, что в задней части глаза получается действительное изображение совершенно такъ, как оно образуется на задней стенке камеры-обскуры. Это изображение должно быть обратное. А что мы, несмотря на это, видим предметы в правильном положении, по мнению Кеплера, обуславливается темъ, что каждое место сетчатки получает как бы толчек и мы, уже душевною деятельностью, сводим причину этого толчка на направление, по которому приходит толчокъ.

Теперь объяснение действия очков было очень просто. Если хрусталик не дает на задней стенке глаза отчетливого изображения, то очки того или другого рода увеличивают или уменьшают способность хрусталика собирать лучи, так что лучи собираются на надлежащем месте.

Менее удачно была объяснеца Кеплером способность аккомодации глаза, т. е. способность приспособляться к различным расстояниямъ. Чем ближе предметъ, тем дальше получается изображение; Кеплер думалъ, что глаз обладает способностью больше или меньше удлиниться соответственно тому, находится ли предмет ближе или дальше.

111. Правильное объяснение аккомодации дал Шейнер (§ 104), который на.

блюдал изображения в глазу быка, а затем и в человеческом глазу, соскобливши заднюю стенку глаза настолько, что изображение могло просвечивать сквозь нее. Оболочка глаза состоит частью из прозрачной роговой оболочки *C* (рис. 104), отчасти из твердого белка *ESE*, покрытого с внутренней стороны темной сетчаткой, на которой находится сеть тонких* нервов. Эта сеть состоит из разветвленных волокон зрительного нерва. Лучи света, пройдя чрез роговую оболочку, дальше идут сквозь водянистую влагу, проходят круглое отверстие радужной оболочки, зрачек *K*, хрусталик *L*, затем проходят сквозь стекловидное тело *M* и, наконец, попадают на сетчатку, на которой и дают изображение.

Рис. 103



Леонардо да Винчи.

Шейнер объяснял способность аккомодации глаза тем, что форма хрусталика может слегка изменяться, благодаря напряжению известных мускулов. Он нашел, что хрусталик обладает более значительной преломляющей силой, чем другая вещь, сквозь которая свет проходит на своем пути в глазу. Потому сжатие этой линзы производит то, что она собирает лучи слабее и, таким образом, устанавливается на более значительное расстояние; утолщение же хрусталика производит более сильное преломление и устанавливает глаз на менее значительных расстояниях. Способность аккомодации имеет естественный предел и потому должно существовать известное расстояние ясного зрения; по объяснению же Аристотеля, как было указано, причина этого должна заключаться в том, что между глазом и предметом должен находиться воздух.

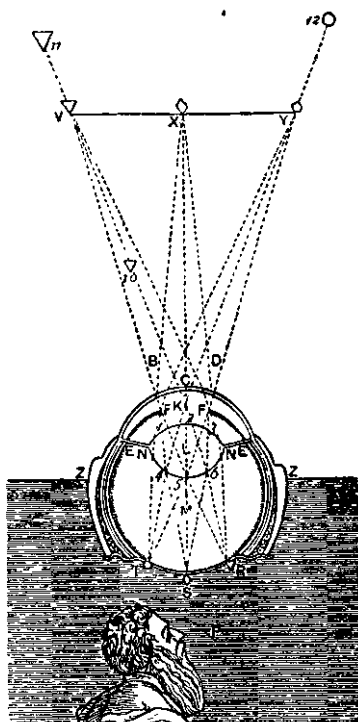
Рис. 105 показывает изображения, которые образуются в глазу, направленном на два светящихся квадрата: *a* есть изображение, образованное роговой оболочкой (выпуклое зеркало), *b* — изображение от передней стороны хрусталика (бо-

лее плоское выпуклое зеркало) и *c* — изображение, полученное от задней стороны хрусталика (вогнутое зеркало). Глаз *A* установлен на далекое расстояние, глаз *B* на близкое. Изображения, получаемые от передней стороны хрусталика, изменяют свою величину, когда глаз устаниавливается на другое расстояние.

Радужная оболочка управляется кольцообразным мускуломъ, из которого исходит множество нитей, подобных лучамъ, так называемых ресничных отростковъ. Под действием известного нерва эти мускулы расширяют зрачек в темноте и суживают его на свету. Это не оказывает никакого влияния на величину и форму изображения на сетчатке и влияет только на его яркость.

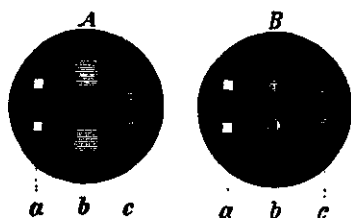
Рис. 104

Рис. 105



Устройство глаза по Картезию.

разсматриваемъ, а несколько ближе к носу. Когда французский физик Мариоттъ занялся однажды исследованием чувствительности этого места сетчатки, он нашель, к своему удивлению, что это место совершенно не чувствительно к свету. В этом можно легко убедиться, закрыв левый глаз, направив правый на крестъ и затем приблизив бумагу на расстояние приблизительно 20 CM и удаляя ее, пока пятно справа не исчезнетъ.



Отраженные изображения въ глазу, когда онъ смотритъ вдаль (A) или на близкое расстояние (B).

Шейнер показал далее, что световые лучи, попадающие на правую сторону задней стенки глаза, воспринимаются, какъ идущие от левой стороны предмета. Именно, если сквозь маленькое отверстие (проткнутое спицей) в куске бумаги, который держится перед самым глазомъ, смотреть на пламя и затем двигать лезвие ножа между глазом и бумагой справа на лево, ТО это лезвие ножа закрывает сначала левую, а потом правую сторону пламени.

Зрительный нерв вступает в глаз не в середине задней стороны его, не тамъ, где мы видим яснее всего предметъ, который



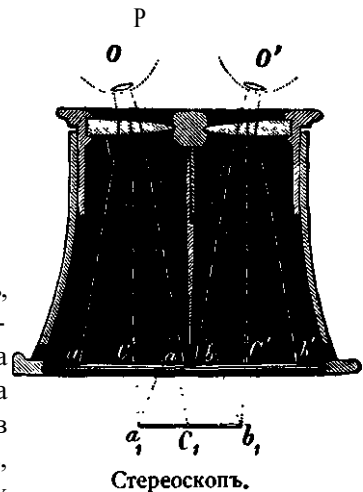
Если предмет освещен в достаточной степени или светит собственнымъ

светомъ, ТО для того, чтобы он произвел свое действие на глазъ, достаточно одного мгновения.

Ночью бывает достаточно молнии, „которая не продолжается и одной тысячной доли секунды, чтобы вызвать в глазу ясное впечатление окружающих предметовъ. Напротивъ, раз полученное впечатление исчезает не сразу. Поэтому движущийся огненный предмет кажется огненной линией. По той же причине движущийся железнодорожный поездъ, освещенный в темноте молнией, производит впечатление неподвижнаго, — продолжительность освещенія так коротка, что заметить какое-нибудь изменение в положении поезда и его колес невозможно. На этом же основан и тауматропъ, в простейшей форме состоящий из куска картона, на обеих сторонах котораго есть рисунокъ, напримеръ, на одной птица, а на другой клетка. Если укрепить на сторонах этого картона концы нитки и затемъ, крутя эту нитку, привести картон в быстрое вращение, ТО эти два изображения будут следовать на сетчатке так быстро одно за другимъ, что глазъ увидит один рисунок — птицу в клетке.

Каждый глаз видит предмет с того места, где он находится, и поэтому правый глаз видит его немного больше справа, а левый глаз — слева. Таким образомъ, изображение предмета в правомъ глазу несколько отличается от изображения в левомъ. Леонардо да Винчи говорить, что картина никогда не может производить полной иллюзии на оба глаза, так как каждый глаз должен давать свое отдельное изображение предмета. Англичанину Витстону, однако, удалось вызвать в каждомъ глазу ТО впечатление, которое необходимо, чтобы получилось ощущение, какое дает телесный предметъ.

Для этой цели был построен стереоскопъ, усовершенствованный Брюстеров (рис. 106). Две линзы, сквозь которыя оба глаза разсматривают две слегка отличающіяся одна от другой фотографии, имеют в ТО же время форму призмъ, чем легче достигается совпадение этих двух изображений.



С и л а

Равновѣсіе твердыхъ тѣлъ

112. Громадные развалины, оставленные нам древними (рис. 108), достаточно доказывают, что они умели обращаться с такими массами, справиться с которыми при помощи непосредственной мускульной силы совершенно невозможно. Перевозка и установка обелисков, которыми древние египтяне украшали входы в свои храмы, этих четырехугольных каменных колонн высотой до 40 м, были бы связаны с большими трудностями даже теперь. Значит, у народов древности должны были быть в распоряжении средства для передвижения тяжестей, для которых простой мускульной силы не хватало; не может подлежать сомнению, что в этом важная роль принадлежала рычагу.

Изобретение рычага так естественно, что о времени его нельзя ничего сказать. Рычаг как одноплечий, так и двухплечий, без сомнения, был известен задолго до того, как была достигнута высокая степень культуры, о которой свидетельствуют упомянутые развалины. Рычаг называется одноплечимъ, если он имеет упор на одном из концов (рис. 107), если, следовательно, груз L и рука (стрелка) находятся по одну сторону от точки опоры и, значит, действуют в

Рис. 107



Одноплечий (A) и двухплечий (B) рычагъ.

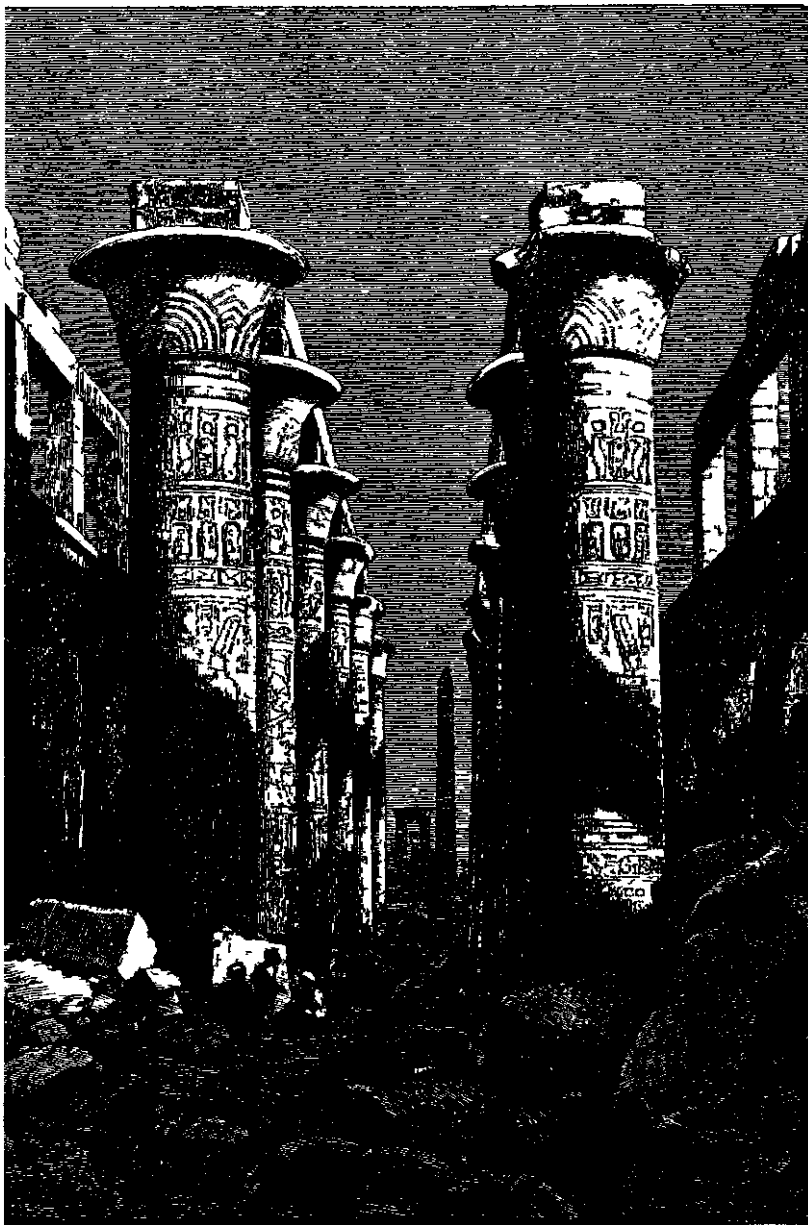
противоположных направленияхъ, — грузъ внизъ, а рука вверхъ. Онъ получаетъ название двухплечаго, если грузъ L на одномъ концѣ его и рука на другомъ действуют по одному и тому же направлению (внизъ), тогда какъ опорой служить точка, лежащая между грузомъ и рукой. Можно легко заметить, что необходимая для движения рычага сила темъ меньше, чемъ ближе точка опоры лежитъ къ грузу.

Применение рычага при возведеніи построекъ в древности показываетъ рис. 109. Люди на переднемъ планѣ подталкиваютъ камень, лежащій на каткахъ, тогда какъ другіе подымаютъ камень двухплечими рычагами с одной ступени пирамиды на другую.

113. Но умение пользоваться подобными вспомогательными средствами, добытое опытомъ, еще не показываетъ, однако, что эти приборы были поняты по существу, и у насъ нѣтъ никакихъ доказательствъ того, что египетскіе жреиш, руководившіе этими сооруженіями, обладали болѣе глубокимъ пониманіемъ этихъ приемовъ. Уже

то обстоятельство, что нам постоянно приходится применять ту или другую силу, может наводить на такое понимание, но все же существенный шаг вперед был сделан лишь тогда, когда начали говорить о величине силы — измерять силу.

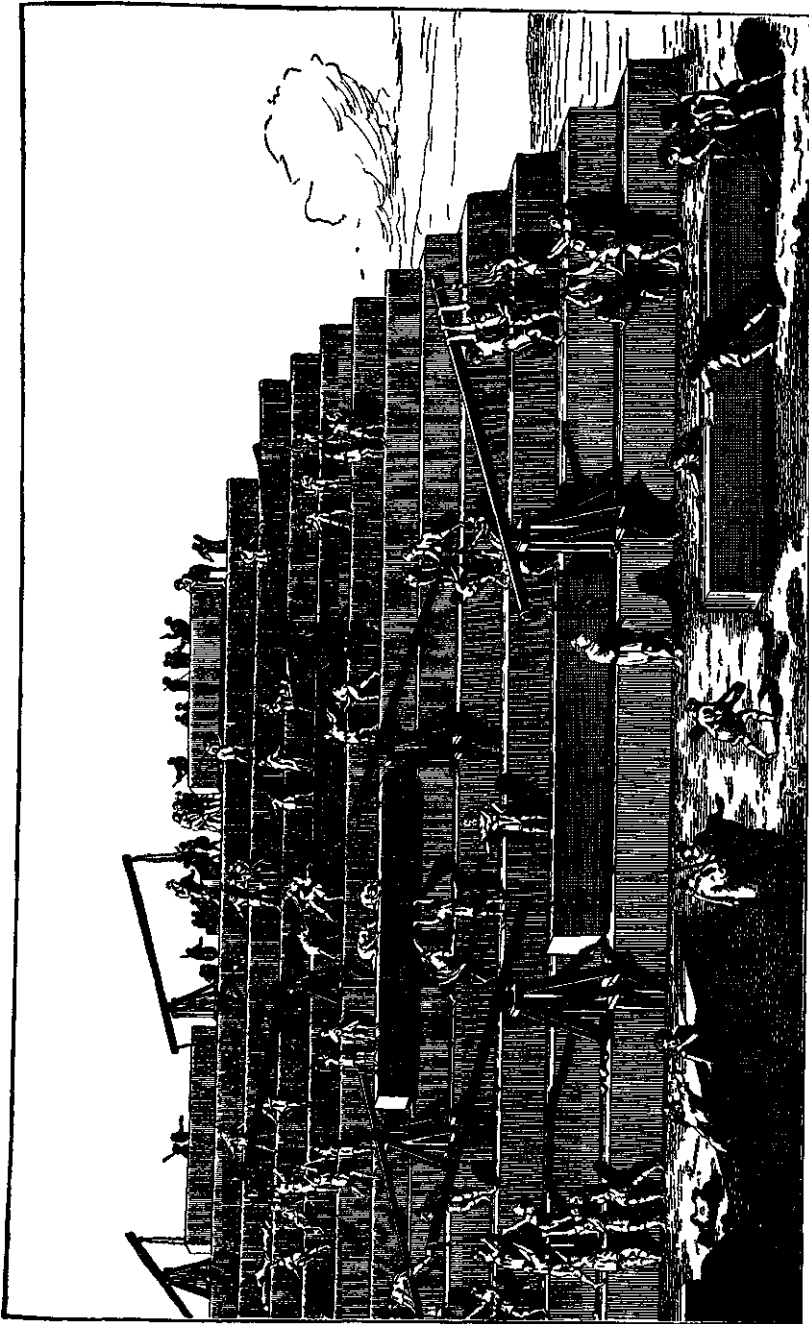
Рис 108



Развалины Карнакского храма в Верхнем Египте

Халдеямъ, сумевшим измерить круг и углы (§ 11), равным образом принадлежат значительные успехи и в деле измеренш силы

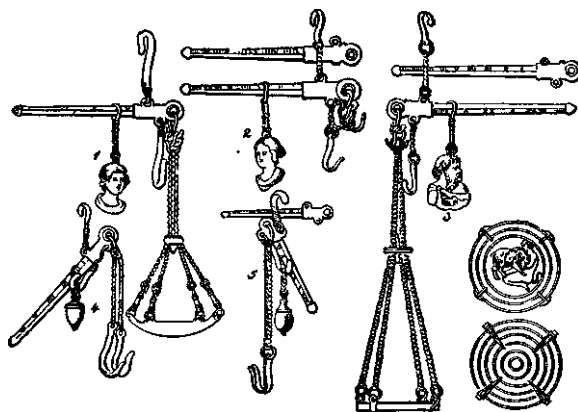
Всякое взвешивание есть уже собственно измерение силы, именно той силы, КО-
торая тянет предмет вниз. Развитие первых приспособлений для взвешивания те-



ряется в доисторическом времени. Весами особенно пользовались промышленные
и торговые народы, и их можно найти в различных формах у большинства об-

разованных народов, оставивших нам предметы своей культуры. При раскопках в Помпеях были найдены красивые безмены (рис. 110). Безмен есть двуплечий рычаг, подвешенный на крючке на известном расстоянии от концов. На одном конце висит, кроме того, еще другой крючок (4) или чашка (1) для взвешиваемого товара. По другому, более длинному плечу рычага, может передвигаться груз, КО-

Рис. 110

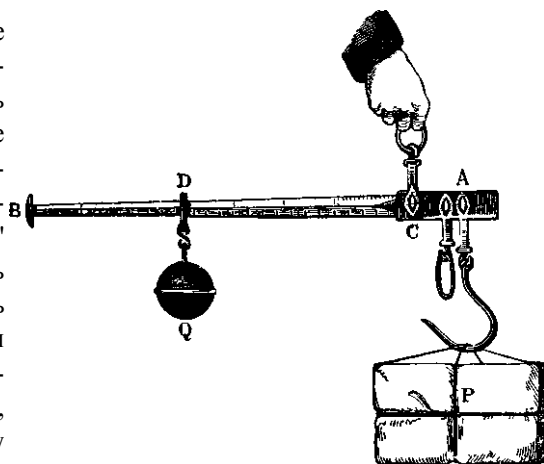


Помпейские безмены.

торым весы приводятся в равновесие; в помпейских весах этот груз часто имеет форму человеческой головы. Чем дальше приходится придвинуть груз к концу для получения равновесия, тем тяжелее товар и нанесенные раз навсегда числа указывают вес товара, соответствующий положению груза. В очень многих безменах на другой стороне ближе к концу приделан еще один крючок. Если повесит безмен на этом крючке, то им можно взвешивать более тяжелые предметы. Соответственные числа находятся на другой стороне коромысла. Рис. 111 показывает, как мало современный безмен отличается от древних.

В скандинавском безмене Рис. 111 груз

укреплен на одном конце коромысла, а взвешиваемый предмет привешивается на другом конце. Груз и коромысло вместе представляют деревянную воронку, в широкий конец которой вливается свинец (рис. 112). По коромыслу передвигается петля до тех пор, пока безмен не приходит в равновесие. На коромысле, как и у обыкновенного безмена, нанесены метки и числа, дающие вес, который соответствует данному положению петли. Эти деления, однако, находятся не на одинако-

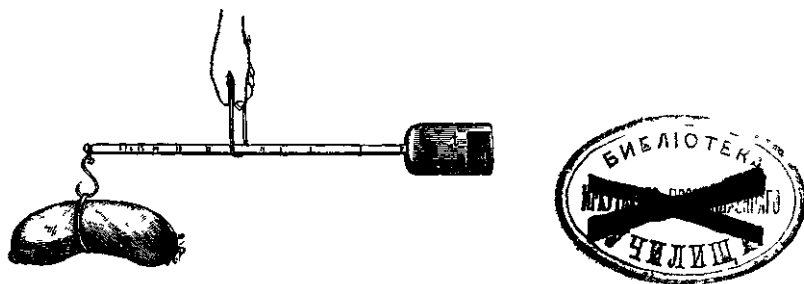


Современный

ковых расстояниях друг от друга, как и должно быть, если метки дают последовательные фунты.

114. Самую трудную часть задачи установления правильной системы мер представляет выбор единицы меры и указание способов, которыми ее всегда можно проверить и определить вновь. Обыкновенно в качестве единиц меры прежде пользовались размерами легко доступного естественного предмета. Для мер длины чаще всего пользовались частями человеческого тела, каковы, например, дюйм (*digitus*, большой палец), пядь, фут (нога), локоть, сажень. Часто за меру брали также

Рис. 112



Скандинавский безмень.

плоды и семена, например, ячменные зерна, макъ, финиковыя косточки. Примеръ системы мер можно найти в указе короля Оттокара II Богемского (1253 — 1278): „4 ржаных зерна, положенных рядомъ, дают один поперечник пальца, десять гиперечников пальца дают пядь; мера пшеницы составляет столько, сколько можно удержать обеими руками". Другой пример попытки создать правильную нормальную меру (футъ) находится в одном сочинении, появившемся во Франкфурте в 1584 г.: „Нужно, чтобы 16 человек высоких и низкихъ, как они выходятъ, напримеръ, из церкви, поставили каждый свои башмаки один перед другимъ; эта длина должна быть законной общей мерой, которою надлежит мерять поля". Иногда предлагали брать за меру расстояние между зрачками взрослого человека.

Ниже мы будем говорить подробно о более новых и в то же время более определенных, но зато и менее легко доступных способах определения единицы длины. За эти единицы принимали пространство, проходимое падающим телом въ первую секунду, длину секунднoго маятника (Гюйгенсъ) и окружность земли (ср. §28). Наконецъ, за единицу длины был принят метръ: длина платинового жезла, хранящагося в Париже.

Так как уже определение одной только единицы меры (единицы длины) представляло столько трудностей, то, очевидно, было бы очень удобно сочетать различные роды единиц в одну совершенно определенную, связную систему. Великая заслуга первого шага здесь принадлежит халдеямъ; именно, они связали воедино главные роды измерений: измерения пространства, силы, ценности и времени.

Раз установлена единица длины, из нея легко выводится единица поверхности и единица объема. Первая есть квадратъ, построенный на единице длины, а последняя кубъ, ребро которoго есть единица длины. Вес такой единицы объема воды, „вавилонский талантъ", был единицей веса и, следовательно, единицей силы. Такой же вес серебра был единицей ценности. Наконецъ, халдеи так регулировали

свои водяные часы, бронзовые сосуды с одним отверстиемъ, что из них вытекал талант воды в $\frac{1}{10}$ сутокъ. Эта часть суток и стала единицей времени. Установление такой связи между различными единицами меры знаменует собою значительный прогресс в естествознании и потому не удивительно, что халдейская система мер пробилась себе дорогу у египтян, грековъ, римлян и других народовъ. Лишь в новейшее время снова была введена такая система, в которой кубъ с ребром в $\frac{1}{10}$ м представляет единицу объема (литръ), а вес такого куба воды представляет единицу веса (килограммъ). При современном совершенстве приборовъ; и при современных условиях сношений общее введение одной и той же основной меры представляет гораздо меньше трудностей, чем во времена халдеевъ. Тем более приходится сожалеть, что и до ныншняго дня еще не все культурные народы примкнули к метрической системе мер и во многих странах (Дания, Англия) еще пользуются единицами меры, ничем не связанными между собою.

115. Астрономия у египтян и халдеевъ широко пользовалась вспомогательными средствами, огромными приспособлениями для визирования и измерения; позднее греки обогатили ее мыслительным аппаратом (математикой) и гениально переработали ее. Подобное развитие прошла и наука о силахъ. Нет ничего величественнее египетских памятников зодчества и нельзя превзойти халдейскую систему меръ. Но, повидимому, этим народам остались неизвестными истинные законы природы, управляющие действием силъ. Учения греческих философов от VI до IV века до Р. Х. привели к переоценке роли мышления, которое, согласно Платону, должно было вести к познанию вечно неизменнаго, къ Рис. 113

познанию идей. Вплоть до III века до Р. Х. греческие ученые относились с презрением к занятиям механикой и к попыткам добиться успеха механическими средствами тамъ, где чистое мышление не приводило к цели.

Аристотель, который во многих отношениях был противником Платона, написалъ, впрочемъ, книгу о силахъ; но она содержит так много невернаго, что позднее часто являлась препятствием для отыскания истины (ср. § 59).

Но в III веке до Р. Х. механика, учение о законахъ силъ, так сказать, развернулась сразу. Именно, появился один из величайших мыслителей, какие когда-либо жили, Архимед Сиракузский. Эта наука развивалась сразу с такой силой и ясностью и охватила такую массу научных истинъ, что история наук едва ли может привести другой подобный примеръ.

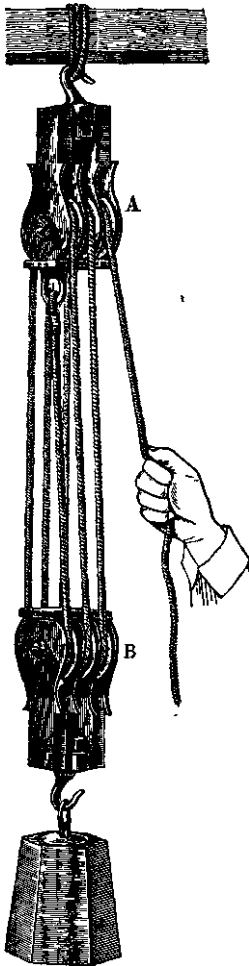


Архимедъ.

116. Архимед (287—212 до Р. Х.) был родственникъ царя Гиерона, правившаго в то время (269—215) в Сиракузахъ. Но Архимедъ, повидимому, не пользовался этим родством для того, чтобы создать себе влиятельное положение, — онъ нашел удовлетворение в занятиях математикой и механикой. Он изобрел около 40 машинъ, в том числе полиспасть, Архимедов винт и „бесконечный" винтъ. Как известно, при помощи полиспаста (рис. 114) можно поднять на веревке зна-

чительную тяжесть сравнительно небольшим усилиемъ. Архимедов и безконечный винты основаны на томъ, что, при вращении винта около его оси, отдельное место нарезки как бы скользит от одного конца к другому. Архимедов винтъ (рис. 115) состоит из наклонно поставленного барабана с винтовой спиралью внутри. При каждом обороте самая нижняя часть винта погружается в воду и захватывает известное количество воды, которое дальнейшими поворотами винта подымается на высоту и, наконецъ, выливается у верхняго конца винта. Архимедовъ винт представляет превосходную машину для подъема воды, которая находитъ

Рис. 114 большое применение еще и теперь. Подобное же перемещение



сообщает вращение безконечного винта (рис. 116) зубчатому колесу, которое, таким образомъ, поворачивается на один зубец при каждом обороте винта.

117. Когда, после смерти царя Гиерона, Сиракузы впутались в войну с могучим Римомъ, оне оказали римским войскам под начальством Аппия Клавдия и флоту под начальством Марцелла необычайное сопротивление, которым городъ, по единогласному свидетельству современных и позднейших греческих и римских писателей, был обязан Архимеду. Полибий восклицаетъ: „так велика была сила одного человека, такъ велико действие его гения. При тех значительных силахъ, которыя осаждали городъ с суши и с моря, он должен былъ попасть в руки римлян при первом же нападении, не будь в Сиракузах этого старца. Архимед находится в стенах города — и римляне не осмеливаются идти на нихъ". — Когда римский полководец попытался взять город штурмомъ, его легионы были прогнаны дождем мелких камней, которым осыпали ихъ метательныя машины Архимеда. Когда Марцелл приблизился к стенам съ самбукой, громадной штурмовой лестницей на двух корабляхъ, самбука была разбита огромными камнями, выброшенными другими машинами. Равным образом у Архимеда оказывались подходящія орудія и на те случаи, когда солдаты Марцелла во мраке ночи на кораблях подкрадывались к стенамъ, покрытые защитной крышей. Но если некоторые из них всетаки удерживались и приближались к стенамъ, то, как рассказывает Полибий, над стеной внезапно появлялся конец рычага, с которого на корабль падала прикрепленная на цепи

Полиспаст или тали.

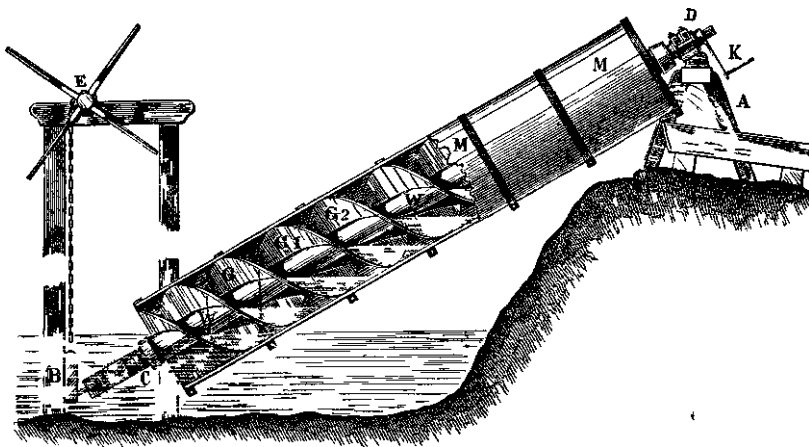
железная рука, схватывавшая ванты и палубу. Затем корабль подъемом рычага поднимался изъ-за стены в вышину, удерживался одно мгновение в воздухе и затем пускался, так что с размаху падал в море, где наполнялся водой или разбивался об утесы.

Когда римляне увидели наконецъ, что должны ограничиться только осадой города, заставляя его голодать, то по известію, которое передает один позднейшій писатель (Антемій), Архимед при помощи вогнутых зеркал зажегъ неприятельскій флотъ.

Это, однако, в высшей степени невероятно По крайней мере попытки сделать это в новейшее время были напрасны. И, конечно, более древние писатели не прошли бы молчанием такого факта

118 Указанные механические работы прославили Архимеда на весь мир, так что выражением „настоящий Архимед" и теперь еще обозначают всякого гения

Рис 115

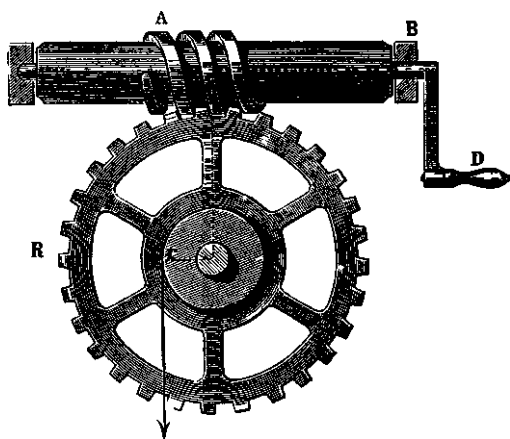


Архимедов винт

механике И, однако, Архимед не придавал этим работам очень большой цены Он был согласен с Платоном, что в сравнении с чистой мыслительной работой подобные вещи совершенные пустяки — Архимед оставил много сочинений, в которых он разрабатывает труд-

Рис 116

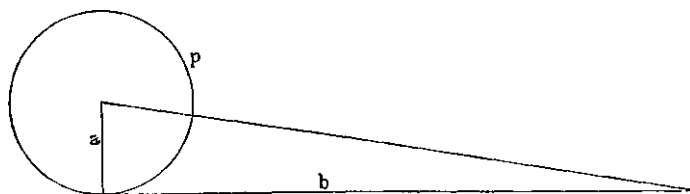
нейшие математические и механические вопросы с таким спокойствием и ясностью, как будто это самые простые вещи Особенно трудны были задачи, в которых дело шло о бесконечно большом числе бесконечно малых величин, например, вычисление длины окружности, которую можно рассматривать как сумму бесчисленного количества бесконечно малых отрезков Математики V и IV веков не умели вычислять площади круга Но Архимед с характерным для него спокойствием и убедительностью показал, что площадь круга равна прямоугольному треугольнику, один катет которого a равен радиусу r (рис 117), а другой катет b равен окружности p круга Что же касается длины окружности, то Архимед показал, что она меньше, чем $3\frac{1}{7}$ диаметра и больше, чем $3\frac{10}{71}$ диаметра Разница этих двух чисел составляет только $\frac{1}{497}$



Бесконечный винт

В другом сочинении Архимед доказал, что объемы конуса, шара и цилиндра одинакового диаметра и одинаковой высоты, относятся между собою, как 1 2 3 (рис НБ) Вычисление кривых поверхностей возможно только при помощи бесконечных (бесконечного количества бесконечно-малых), и нельзя удивляться, что человек, впервые сумевший решать такие задачи, и притом не только приближенно, а совершенно строго, находил в этом такое большое наслаждение, что выразил желание, чтобы на его могиле в виде памятника были поставлены шар и цилиндр

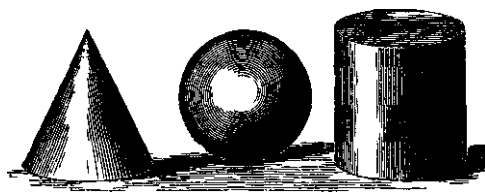
Рис 117



Площадь круга

119 В другой книге Архимед дает число, которое больше числа песчинок, могущих наполнить весь мир Греческия числительныя не шли далее мириадъ (10000) Архимед показывает, что можно отсчитать мириадъ мириад и этотъ результат (100000000) принять за единицу второго порядка. Отсчитав затемъ опять мириадъ мириад этихъ единицъ, мы получим единицу третьего порядка Продолжая такой счетъ дальше, мы получимъ единицу четвертого порядка и т д Архимед думалъ, что радиусъ звездного неба можно считать равнымъ 10 000 000000 стадий и что 10000 песчинокъ занимаютъ такой же объемъ, какъ зерно мака, а 40 ма-

Рис. 118 ковых зерень, положенныя рядомъ, со-



Предложение Архимеда. сать в виде 1 с 63 нулями —Можетъ казаться, что целая книга по такому ВО-

просу представляетъ бесполезную забаву. Но на самомъ деле это есть излшние гигантскаго ума, который желаетъ испытать свои силы, переступая границы непосредственныхъ чувственныхъ впечатленийъ

120. Переходя теперь къ ознакомлению с некоторыми положениями, на которыхъ Архимед основал механику, мы, к сожалению, не можемъ точно придерживаться того способа изложения который находимъ в его твореншхъ Это заняло бы слишкомъ много места и потребовало бы большихъ знаній по математике, чемъ мы предполагаемъ Но самое изложение поражаетъ своей величественной простотой

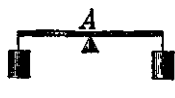
Плутархъ (около 100 г. по Р. X) пишетъ объ этомъ „Нигде во всей математике нельзя найти болѣе простаго и яснаго способа решенш болѣе трудныхъ и

сложных задач, чем у Архимеда... Если ты напрасно трудишься над темъ, чтобы найти доказательство какого-нибудь положения и затем ищешь совета у Архимеда, то сейчас же получаешь впечатление, как будто ты сам уже был близокъ к открытию доказательства: таким легким и коротким путем приходишь к тому, что хотел доказать".

121. Архимед как в математике, так и в механике исходит из простых вещей, в которых никто не сомневается, например, из того, что если равные грузы действуют на равныя плечи рычага, то они удерживают друг друга в равновесии (рис. 119 *A*); если на равныя плечи действуют неравные грузы, то равновесия нетъ, *B*: больший вес опускается; если равные грузы действуют на неравныя плечи, *C*, то равновесия нетъ, а более длинное плечо опускается и т. д. От этихъ простейших случаев он затем переходит рядом заключений, при помощи чистого мышления, к предложениям относительно более сложных соотношений.

Относительно неравноплечого рычага он говорит, что рычаг находится въ равновесии, когда грузы обратно пропорциональны длинам плеч рычага. Таким образомъ, рычаг (рис. 120) будетъ, например, в равновесии, если *A* относится к *B*, как *m* к *n*. Архимед доказывает это утверждение приблизительно следующим образомъ.

Рис. 119



рычага.

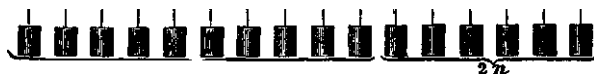


Рис. 120

Основныя положенія
Архимеда. Равновесіе

Пусть отношение *n* к *m* будет 3:5, а отношение *A* к *B*, следовательно, 5:3. В таком случае можно мысленно представить себе груз *A* разделенным на 2X5 или 10 малых грузовъ, а груз *B* на 2 X 3 или 6 малых грузовъ такой же величины. Если таким же образомъ разделить отрезок *n* на 3, а отрезок *m* на 5 равных частей, то можно представить себе затем отрезок длиною 2 *m* или 10, на котором подвешены маленькие грузы, составляющие *A*, по одному в середине каждой части. Этот отрезок с малыми грузами обозначен 2 *m* (рис. 121). Соответственно приведенным выше основным положениям он находится в равно-

Рис. 121



2m

Вывод условий равновесія рычага.

веси, если подвешен как раз по середине. Таким образомъ, безразлично, подвесить ли в точке *a* груз *A* (рис. 120) или же подвесить в точке *a* (рис. 121) середину отрезка длиною 10 (2 *m*) с десятью малыми грузами. Равным образомъ

будет безразлично, подвесим ли мы в точке b груз B (рис. 120) или же подвесим в точке b (рис. 121) отрезок длиною в 6 ($2n$) с шестью малыми грузами. Если же мы подвесим ихъ, как показано на рис. 121, то все 16 малых грузов будут висеть в срединах 16 рядом лежащих равных частей одного отрезка. Этот отрезокъ, естественно, находится в равновесии, если подвешен въ средине, а его середина есть P . Но в таком случае равновесие должно быть, если в a и b подвесить грузы A и B , замененные отрезком $2m$ с 10 малыми грузами и отрезком $2n$ с 6 малыми грузами.

122. Теперь легко видеть, что одноплечий рычаг должен быть в равновесии, когда на него действуют, в противоположных направлениях две силы M и Af , относящиеся между собою обратно пропорционально разстояниям m и n от точки вращения. Из рисунка видно, как при помощи блока можно заставить груз тянуть вверхъ. Если мы вообразим себе груз $6''$ (рис. 122) такой же величины, как M , подвешенным в той же точке, в которой M тянет вверхъ, то грузы S и M будут в равновесии. Если затем представить себе одноплечий рычаг удлинненнымъ в двухплечий, на другом плече которого n' , равном n , висит груз R такой же

Рис. 122



Одноплечий рычагъ.

величины, как N , то R и N также будут в равновесии. Но так как 5 равно M и R равно N , то S и R должны относиться друг к другу как n к m или какъ n' к m . Следовательно, грузы S и R , действующие на плечи m и n' , также удерживают друг друга в равновесии. Значитъ, все эти четыре силы M , S , R и Af удерживают друг друга в равновесии, а так как две силы S и R взаимно уравновешиваются, то, следовательно, в равновесии должны быть также и силы M и N .

123. Во всяком теле есть точка, относительно которой веса всех частей тела находятся в равновесии. Это так называемый центр тяжести тела; если его подпереть, то тело находится в равновесии. Если тело подперто только въ своем центре тяжести, то весь вес тела действует на точку опоры (или точку подвеса).

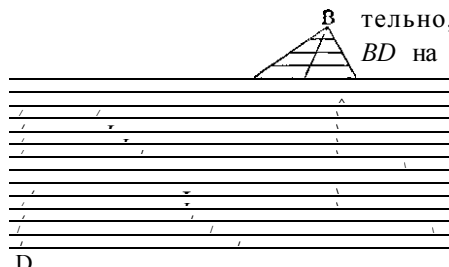
Архимед написал книгу о томъ, как можно математически определять центр тяжести поверхностей различной формы. Мы должны удовольствоваться здесь несколько иным способом изложения, более короткимъ. Если представить себе треугольник ABC (рис. 123) разрезанным на (безчисленные) узкия полосы параллельно одной из сторонъ, например, стороне AC , то каждая такая полоса будет въ равновесии, если подпереть ее по средине. Но так как средины всех таких полос лежат на линии BD , которая соединяет вершину угла B со серединой стороны AC , то весь треугольник должен быть в равновесии, если подпереть его

вдоль линии BD , так называемой медианы. На этой линии, следовательно, должен лежать центр тяжести.

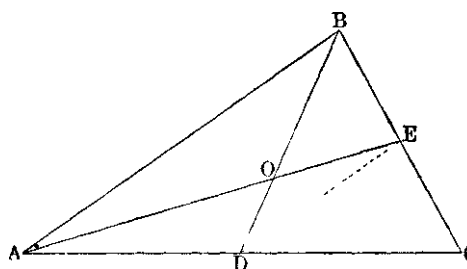
Подобное же рассуждение показывает, что центр тяжести треугольника должен также лежать на медиане AE (рис. 124). Следовательно, он лежит в точке O пересечения медиан.

Легко видеть, что линия ED равна половине линии AB . Но треугольник DOE есть, так сказать, треугольник BOA в половинном масштабе (эти два треугольника подобны). Значит, не только DE равно половине AB , но также и OD равно половине OB . Следова-

Рис. 123



Центр тяжести треугольника лежит на его медиане

Рис. 124 на два треугольника ABC и ADC ,

Центр тяжести треугольника.

тельно, если разделить медиану BD на три равные части, то та точка деления, которая будет ближе к стороне треугольника, будет точкой пересечения медиан — центром тяжести треугольника.

124. Теперь нетрудно найти при помощи построения центр тяжести любого четырехугольника. Для этого нужно разделить четырехугольник диагональю

на два треугольника ABC и ADC , центры тяжести которых пусть будут T_1 и T_2 (рис. 125). Центр тяжести четырехугольника должен лежать на линии, соединяющей T_1 и T_2 . Затем нужно разделить данный четырехугольник другой диагональю на два треугольника DAB и DBC с центрами тяжести T_3 и T_4 . Центр тяжести четырехугольника должен также лежать на линии, соединяющей T_3 и T_4 , следовательно, он должен находиться в точке O .

Чтобы найти построением центр тяжести пятиугольника, его делят на треугольник и четырехугольник, определяют центр тяжести каждой из этих двух фигур и соединяют полученные центры тяжести. Затем повторяют все построение еще раз другим способом, что дает вторую линию, соединяющую центры тяжести новых треугольника и четырехугольника. Центр тяжести пятиугольника должен лежать в точке пересечения этих двух линий.

Подобным же образом можно определить центр тяжести шестиугольника, семиугольника и т. д. Но этот прием неприменим к фигурам, ограниченным кривыми линиями. Архимедь, однако, с присущим ему мастерством находить центры тяжести различных криволинейных фигур, на чем мы, впрочем, не можем дольше останавливаться.

Пример 1. На какой линии должен лежать центр тяжести всякой пирамиды?

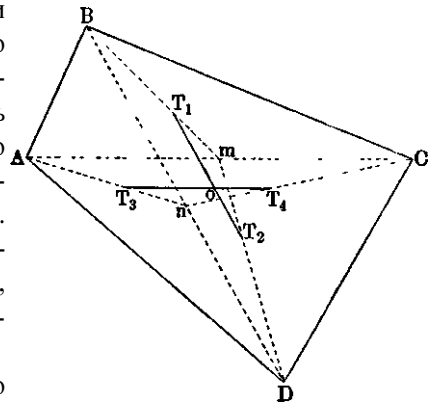
Пример 2. Где, следовательно, должен лежать центр тяжести треугольной пирамиды?

Пример 3. Какой вывод получается отсюда относительно положения центра тяжести в любой пирамиде?

125. Когда римлянам удалось, наконец, благодаря коварству и измене, ворваться ночью в город, Архимед в утренний час сидел в другой части города и рисовал чертежи на песке. Не подозревая того, что произошло, он сидел углубленный в свои математические соображения, рис. 125

когда римский солдат бросился на него и нанес ему удар, не обращая внимания на его крик: „не наступи на мои круги“. Глубоко огорченный этим Марцелл приказал устроить ему похороны и оказал почести его родным. На могиле Архимеда был воздвигнут памятник, какого желал он сам. Позднее Цицерон нашел памятник заросшим колючим кустарником; то место, которое теперь называют могилой Архимеда, вероятно, не есть настоящее.

Ниже мы познакомимся еще с другою частью физики, начало которой положил также Архимед (равновесие плавающих тел¹).



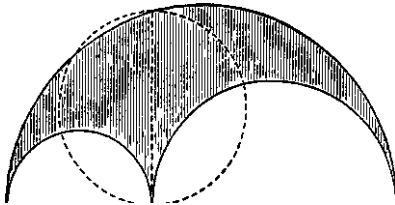
Центр тяжести четырехугольника.

126 Мы прибавим теперь еще несколько замечаний к учению о центре тяжести, принадлежащих позднему времени.

¹ Тот, кто умеет вычислять площади кругов, может доказать следующие положения о круге, передаваемые арабскими писателями и приписываемые Архимеду.

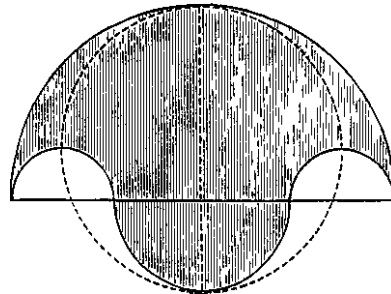
1. Данная фигура (рис. 126) ограничена тремя полуокружностями, такими, что сумма диаметров двух меньших кругов составляет диаметр большого круга. Нужно доказать, что фигура, ограниченная этими полуокружностями (заштрихованная) равновелика кругу, диаметр которого равен отрезку перпендикуляра, возставленного к общему диаметру в точке касания двух малых кругов.

Рис. 126



Арбелон Архимеда.

Рис. 127



Салион Архимеда.

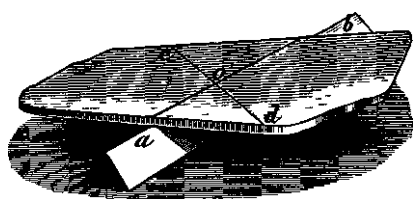
2. Два неравных полуокруга с общим центром лежат по разные стороны диаметра. На выступающих частях большого диаметра начерчены два полуокруга, так что получается фигура 127, ограниченная четырьмя полуокружностями (заштрихованная). Надо доказать, что эта фигура равновелика кругу (пунктирному), диаметр которого равен сумме радиусов двух первых полуокругов.

Как и Платонъ, Архимед отнесся бы с презрением к определению центра тяжести при помощи опыта. Однако, очень часто на практике это бывает удобно, хотя нужно признать, что при этом работа мысли заменяется чисто механическими приемами.

Если нужно найти центр тяжести какой-нибудь плоской фигуры, то ее можно положить на острое ребро a такъ, чтобы она пришла в равновесие, и тогда провести на этой фигуре линию вдоль ребра. Повторив это затем при другом положении фигуры, мы получим линию cd . Точка пересечения этих двух линий есть центр тяжести взятой фигуры (рис. 128).

Центр тяжести любого тела можно определить также тем способом, который указывает рис. 129. Один конец доски покоится на ребре, а другой, какъ

Рис. 128 видно из рисунка, держится на весу. Положив



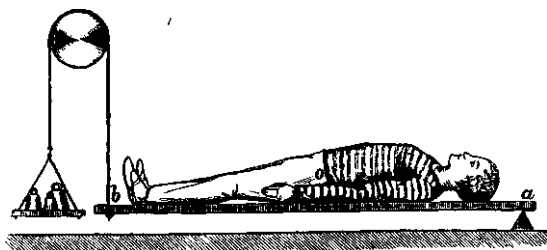
тело на доску, нужно положить на чашку известный грузъ, чтобы возстановить нарушенное равновесие. Положимъ, что для этого понадобилось 30 кг. Если, кроме того, известен вес предмета и расстояние точек a и b , то положение центра тяжести получается при помощи простого вычисления. Имен-

Определение центра тяжести при помощи условия равновесия состоит в томъ, что

вес тела относится к весу груза, действующего въ точке b , какъ расстояние точки от a к расстоянию центра тяжести от a . Если, напримеръ, $a b$ равно 2'5 м, а вес тела 75 кг, то расстояние центра тяжести от a равно 1 м.

Другой способ нахождения центра тяжести состоит в подвешивании тела на веревке, укрепленной в произвольной точке тела. Центр тяжести должен лежать

Рис. 129



Определение центра тяжести при помощи опыта

на продолжении веревки. Если поэтому подвесить тело в другой точке, то получится вторая линия, на которой также должен лежать центр тяжести. Значитъ, онъ будет находиться в точке пересечения этих двух линий.

127. Тело, подпертое или подвешенное такъ, что его центр тяжести не может опускаться, находится в равновесии. Напротивъ, тело, находящееся в такомъ положении, что его центр тяжести может опускаться, приходит в движение (вследствие силы тяжести).

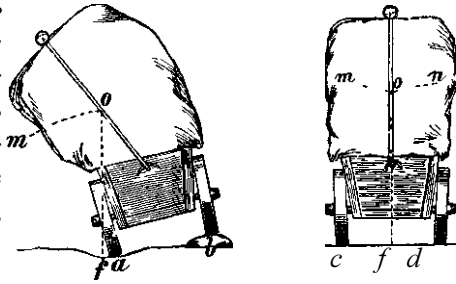
Пусть центр тяжести тела, которое стоит на опорной поверхности a (рис.

130), будет в точке o . Тело должно опрокинуться влево, ибо при вращении около a центр тяжести o движется по дуге круга $o m$ и уже в первое мгновение (при положении o) идет несколько вниз. Так будет всегда, когда основание отвесной линии, опущенной из центра тяжести, падает вне площади опоры. Если, напротив того, эта точка приходится внутри площади опоры cd , то тело продолжает стоять, так как движение центра тяжести может происходить только по дуге $o m$ или по дуге on , а в обоих этих случаях центр тяжести сперва должен немного приподняться.

Когда человек стоит, он бессознательно заботится о том, чтобы отвесная линия из центра его тяжести падала внутри площади его опоры, т. е. поверхности,

Рис. ограниченной теми

линиями, по которым касаются земли наружные части его подошвы. Чем ближе приходится основание отвеса из центра тяжести к этим линиям, тем легче можно упасть. Когда же отвес приходится на точку вне площади опоры, то человек падает,



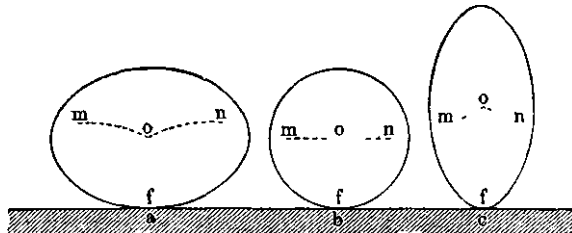
Условие устойчивости тела.

128. Даже если площадь опоры сводится к одной точке, равновесие сохраняется, раз эта точка лежит по отвесу под центром тяжести. Однако, такое равновесие может обладать различными свойствами.

Если тело, опирающееся одной точкой, заставить двигаться (без скольжения), то могут представиться следующие случаи: центр тяжести подымается (рис. 131 *a*), остается на одной и той же горизонтальной линии (*b*) или опускается (*c*). Если затем пре-

Рис 131

если только он сейчас же не воспрепятствует начавшемуся падению, например, переставив ноги, как он это постоянно делает при ходьбе.



Виды равновесия лежащего тела.

доставить тело самому себе, то в первом случае оно вернется к первоначальному положению равновесия, при котором центр тяжести занимает самое низкое положение. Во втором случае тело будет в равновесии и при новом положении, и потому оно будет оставаться в этом положении. В третьем случае тело будет продолжать свое движение, а центр его тяжести будет двигаться дальше вниз. Первое тело находится в так называемом устойчивом равновесии, второе в

точке d (рис. 132). Соответственно тому, будет ли точка подвеса лежать надъ центром тяжести, в нем самом или под нимъ, тело будет находиться в устойчивомъ, безразличном или неустойчивом равновесии. В самом деле, небольшое движение тела в первом случае ($\wedge_1$) будет производить поднятие, в третьем (d_3) понижение центра тяжести, тогда как во втором случае ($\wedge_2$) центр тяжести будет сохранять свое положение.

129. Первый случай лежит в основе так называемого Карданова подвеса, которым пользуются для того, чтобы дать предметам возможность оставаться
рис. 132 неизменном положении даже в техъ

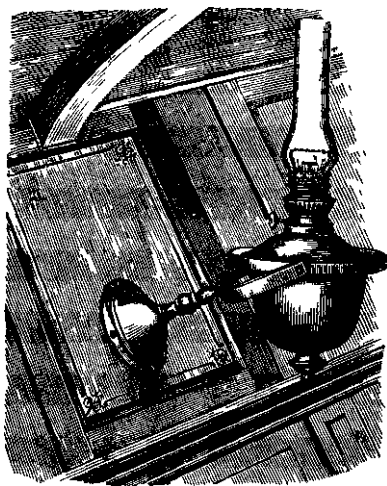


Виды равновесш подвешенного тела

случаяхъ, когда их опора движется
взад и вперед (лампы и компасы на судахъ). Центр тяжести тела лежит ниже его горизонтальной оси. Концы этой оси лежат на кольце, которое въ свою очередь может двигаться около другой оси; направление этой второй оси перпендикулярно к направлению первой (ис 133).

Этотъ способ подвеса получил свое название от итальянского математика и врача Кардани (1501—1576). В его лице мы находим удивительную смесь суеверий и борьбы с суевериями, что отчасти было обусловлено тогдашним временемъ. Он выступалъ, например, против привиденШ и тому подобнаго, но с другой стороны верилъ, что 1 апреля в 8 часов утра он может выпросить у неба все, чего пожелаетъ, хотя не может сделать этого в другое время. Повидимому, онъ

Рис. 133 заморил



Карданов подвѣсъ.

себя голодом в том году, въ котором должен был умереть по астрологическому предсказанию. Хотя в области физики Кардан не сделал ничего существенно крупнаго, но он много раз обнаруживал большое искусство. Он принимал участие в математических диспутахъ, которые часто устраивались в то время, особенно в Италии, и которые много помогли слиянню древнегреческой геометрии с буквенным счислениемъ, изобретенным индусами¹⁾.

Существует много игрушекъ, в которых играет роль центр тяжести. Если прикрепить на одном конце [палочки из бузиновой сердцевины кусочек свинца и поло-

жить эту палочку на столъ, то она сама собою станет вертикально. Для того, чтобы заставить штопальную иглу „танцовать“

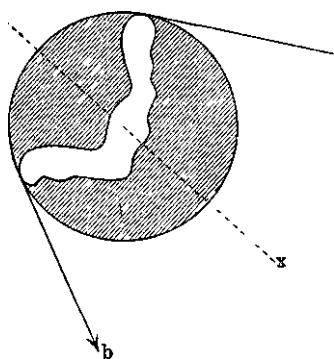
*) Так называемая Карданова формула решения уравнений третьей степени составляеть, однако, как признал сам Кардани, изобретение его земляка Тарталья (ум. 1559).

на головке булавки, ее протыкают вертикально сквозь пробку, в которую с боков втыкаются две вилки, направленные косо вниз. Центр тяжести всей этой системы лежит ниже конца иглы; поэтому, если поставить иглу острием на не слишком гладкую головку булавки, воткнутой в пробку закупоренной бутылки, то игла вместе с пробкой и вилками будет находиться в устойчивом равновесии и потому будет плавно колебаться.

130. В числе тех, кто впервые в эпоху возрождения снова занялся учением о равновесии Аристотеля, нужно назвать Леонардо да Винчи (§ 109). Особенные заслуги в дальнейшем развитии этого учения в XVI веке принадлежать Убальдо дель Монте (род. 1545). Окончив университет, Дель Монте принял участие в войне против турок и позднее был главным инспектором крепостей в Тоскане. Он пользовался своим влиянием, чтобы создать молодому Галилею хорошее положение (§ 140), и последний всегда чтит в нем не только благорасположенного друга, но и дельного физика. Дель Монте был истинным представителем эпохи возрождения, — он сначала перевел учение о равновесии Архимеда, а затем написал механику, в которой развил учение о равновесии дальше. Дель Монте умер в 1607 году.

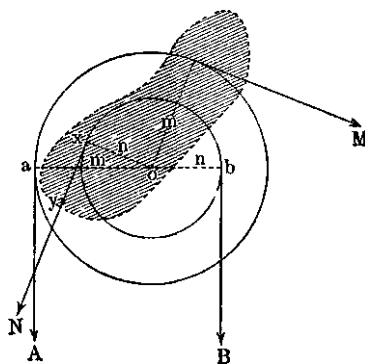
131. Когда на веревку, лежащую на блоке, действуют две силы a и b (рис. 134), то само собою понятно, что эти силы будут в равновесии, если они равны. В са-

Рис. 134



Равновесие относительно оси вращения по Дель Монте.

Рис. 135



Равновесие неравных сил относительно оси вращения по Дель Монте.

мом деле, на чертеже все части будут расположены симметрично относительно линии x и нет никаких оснований, почему бы блок должен был повернуться в одну сторону, а не в другую.

Затем непосредственно ясно, что равновесие не нарушится, когда веревка будет прикреплена к блоку; оно не нарушится и в том случае, если удалить затем заштрихованные части блока. Пока блок не вышел из положения равновесия, конечно, безразлично, есть эти части или они отсутствуют.

На двойном блоке с радиусами m и n (рис. 135) силы A и B , очевидно, находятся* в равновесии, если они обратно пропорциональны радиусам, т. е. если их

отношение равно отношению n к m . В этом случае a и b можно разсматривать, как рычагъ, на который действуют силы A и B . С другой стороны, как указано выше, сила N должна уравнивать силу B , когда N равна B ; точно так же сила M должна быть в равновесии с силой A , если M равно A . Таким образомъ, силы M и N также должны быть в равновесии, если имеют ту же величину, что и силы A и B , т. е. если они относятся друг к другу, как n к m .

Итакъ, если не происходит никакого движения при равновесии сил M и N , то безразлично, будут ли остальные части двойного блока иметь форму точнаго круга или же какую угодно другую форму, вроде, напримеръ, указанной штриховкой на рис. 133. Условие равновесия двух сил M и N должно оставаться прежнимъ, какова бы ни была форма остальных частей блока, в этом случае не имеюицх значения. Нет также необходимости, чтобы веревка, на которую действует сила N , была закреплена в точке x . Она может быть закреплена и в точке y или в каком угодно другом месте веревки или ея продолжения.

Те две силы, которыя тянут или дают на блокъ, рычаг или другое механическое приспособление в противоположных направленияхъ, в то время обыкновенно различались Июд названием силы и груза, так как такими приспособлениями часто пользовались¹ для того, чтобы двигать груз силою руки. Но когда Дель Монте и его последователи выяснили соотношение между силою и грузомъ, именно, в том смысле, что дело состоит не в движении груза силою, а лишь во взаимномъ уравнивании ихъ, то стало, очевидно, несущественнымъ, что из них называть силой и что грузомъ. А так какъ, кроме того, со словом „грузъ" связывается представление веса, т. е. притягивания или давления, направленного по отвесу внизъ, и так как посредством названных приспособлений сила может уравниваться также другими силами, которыя будут тянуть или давить по иным направлениямъ, то различие между силой и грузом стали отбрасывать и начали говорить лишь о силахъ, которыя уравнивают друг друга. При этом под силой разумели притягивание или давление определенной величины, которое можно выразить фунтами и направление которого определяется особо в каждом отдельном случае.

Эти соображения привели Дель Монте к следующему условию равновесия двух силъ, действующих в любом направлении на рычаг (тело), который может вращаться около неподвижной точки (оси):

Из точки вращения опустим перпендикуляры на направления силъ. Если силы обратно пропорциональны длинам этих перпендикуляров и стремятся повернуть тело в противоположных направленияхъ, то это тело находится в равновесии.

Дель Монте ввелъ, кроме того, новый способ обозначения, который по своей ясности и наглядности представляет значительный шаг впередъ. Так как M и N обратно пропорциональны величинам m и n , то произведения Mm и Nn равны между собою. Произведение силы на ея разстояние от точки вращения называется статическим моментом силы. Итакъ, условия равновесия двух силъ, действующих на тело, которое может вращаться около оси, перпендикулярной к плоскости силъ, можно формулировать следующим образомъ: Силы должны стремиться двигать тело в противоположных направленияхъ, а их статические моменты должны быть равны.

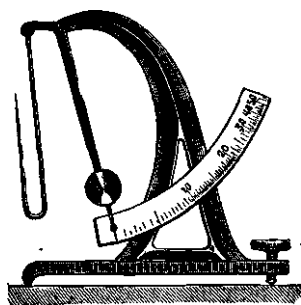
Это положение справедливо также и тогда, когда на тело действует больше двух силъ. В этомъ случае их разделяют на две группы: в одну группу выделяют силы, которыя стремятся повернуть тело в одном направлении, в другую те, которыя стремятся двинуть его въ противоположном направлении. Тело будет находиться в равновесии, если сумма статических моментов одной группы равна сумме статических моментовъ другой группы.

Пример 1. Ящикъ, наполненный однородным веществомъ, весит 270 кг . Его три ребра имеют в длину $a = 80$, $b = 100$ и $c = 120\text{ см}$. Какое горизонтальное давление нужно произвести на верхнее ребро, чтобы перевернуть ящикъ около ребра a или около ребра b , если он стоит на стороне a b ? Какое давление требуется для того, чтобы перевернуть этот ящикъ около a или c , если он стоит на ac , и какое давление для того, чтобы повернуть его около b или c , если он стоит на bc ? Ответъ: $112V_2$, 90 , 162 , 108 , $102V_2$, $168^{3/4}\text{ кг}$.

Пример 2. Веса для писемъ, рис. 136.

132. Механику сильно подвинул вперед также современник Дель Монте, голландец Симон Стевенсъ, обыкновенно называемый Стевиномъ, родившийся в Брюгге в 1548 г. Сначала он был конторщи-

Рис. 136



ком у одного антверпенского купца, затем предпринимал далекия путешествия, 35 лет от роду началъ службу в Лейденском университете и в 1620 г. умеръ, состоя в должности инспектора водяныхъ сооружений.

Стевин много занимался исследованиями по механике, принадлежа к тем своим современникамъ, которые и в научных работах предпочитали родной язык латинскому. В развитии наукъ, по его взгляду, должны принимать участие, как можно больше людей, о. ; собирая опыты, и потому ученые должны писать на

род-

ном языке, понятном всемъ, „как это делали греки и даже римляне". Голландский языкъ, на котором он писал свои сочинения, быть, по его мнению, особенно пригоден для ясного и связного изложения, благодаря большому количеству односложных словъ. На этом языке написано его главное сочинение „De Beginselen der Weegkonst". Собрание его сочинений было, впрочемъ, издано на французском языке в 1634 г., уже после его смерти.

Он также горячо старался ввести в употребление десятичную систему во всех вычисленияхъ, равно как и при подразделении монетъ, мер и весовъ. Но только теперь, спустя 300 летъ, с введеніем единицы длины метра, единицы веса грамма и сотенного деления большинства монетъ, эта мысль нашла осуществление. Замечательно, что одна только Англия все еще придерживается старых подразделений. Образцом искусства Стевина может служить устройство повозки с парусами, которую двигал ветер и в которой 18 человекъ, между ними принц Мо-риц Нассауский, в 2 часа проехали четыре голландския мили.

133. Одно замечание относительно блоковъ, сделанное впервые Стевиномъ, впоследствии приобрело большое значение. Рис. 137 а представляет неподвижный блокъ, т. е. блокъ, ось котораго лежит на неподвижных подшипникахъ. Две силы

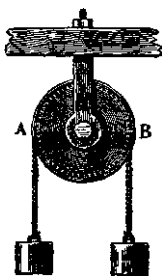
находятся в равновесии, если оне равны по величине, на основании § 131 или же в силу того, что такой блок можно считать двуплечим рычагом с одинаковыми плечами.

В подвижном блоке (рис. 137 Б) одна сила P действует на обойму, въ которой укреплена ось блока. Вместо того, чтобы заставить действовать какую-нибудь силу b вверхъ, можно перебросить шнуръ через неподвижный блок и заставить силу действовать внизъ. Величина силы от этого не изменится. Так как действие силы P распределя-ется на обе части a и b веревки, то равновесие будет достигнуто, если в b будет действовать сила p , которая вдвое меньше силы P .

Рис. 137 а

Рис. 137с

Рис. 137 д



Неподвижный блокъ.

Рис. 137 б

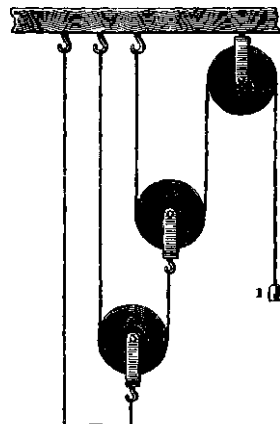
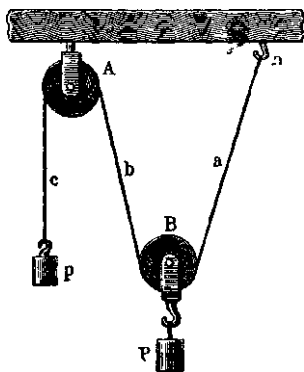


Рис. 137 с представляет полиспаст первого рода или тали. Он состоит из двух групп блоков, по несколько в каждой. Одна из этих групп неподвижна, другая подвижна. Веревка укреплена в верхней части и затем охватывает поочередно один блок нижней и один блок верхней части.

Большая сила (груз) действует на подвижную часть, меньшая сила на свободный конец веревки. Так как действие тяжести распределяется в данном случае на шесть веревок, то для равновесия на свободном конце веревки должна быть приложена сила, равная всего только шестой части груза. Вообще здесь сила равна грузу, разделенному на общее число блоков полиспаста.

В полиспасте второго рода, изображенном на рис. 137 d, сила, которая

должна действовать на первую веревку, равна половине груза, сила, действующая на вторую веревку, равна четверти груза, на третью — восьмой его части, на четвертую — шестнадцатой и т. д. Таким образом, если число блоков равно n , то сила должна быть в 2^n раз меньше груза¹⁾.

Если обозначить силу чрез A , а груз чрез B , то в случае

$$\begin{array}{ccccccc} \text{a.} & & & \text{b.} & & \text{c.} & \text{d.} \\ A = & B, & 2A & = & B, & 6A & = & B, & 8A & = & B. \end{array}$$

Здесь Стевин и делает следующее замечание. Если происходит маленькое движение, например, если A слегка подымается, а B немного опускается или наоборот, то лишь в случае a перемещение груза A будет такой же величины, как и перемещение груза B . В случае b для того, чтобы груз B переместился на один дюйм, груз A должен переместиться на два дюйма. В случае c , если каждая из шести частей веревки укорачивается на один дюйм и, следовательно, груз B перемещается на один дюйм, груз A должен передвинуться на шесть дюймов. В случае d , для того, чтобы груз B мог передвинуться на один дюйм, груз A должен переместиться на восемь дюймов. Если обозначить движения грузов A и B через a и b , то в указанных четырех случаях получится:

$$a = b, \quad a = -2b, \quad a = 6b, \quad a = 8b.$$

Сравнение этих равенств с предыдущими дает следующее положение: во сколько раз один груз (или одна сила) больше другого, во столько же раз его перемещение меньше перемещения другого груза, или же произведение одной силы на ее перемещение равно произведению другой силы на ее перемещение. Но так как здесь имеет место равновесие, то целесообразнее говорить о возможном движении или о возможной скорости, чем о действительном движении или о действительной скорости. Таким образом, этому положению можно дать следующую формулировку: Данная сила уравнивается другою, если произведение первой силы на ее возможное перемещение равно произведению другой силы на возможное перемещение этой второй силы.

134. Это важное положение, начало возможных перемещений, было впервые высказано Стевином в приведенной выше форме в применении к блокам и полиспастам. Его великий современник, молодой еще Галилей показал, что это положение, как мы тотчас увидим, имеет более широкое значение, а позднее было найдено, что оно верно вообще для всевозможных машин.

Пример 1. Нетрудно видеть, что положение Дель Монте о статических моментах есть частный случай этого положения.

Пример 2. Это положение можно также применить к дифференциальному полиспасту (рис. 138). Два блока различных диаметров наглухо скреплены один с другим (или выточены из одного куска) и могут вращаться около общей неподвижной оси. Безконечная цепь охватывает каждый из этих блоков сделанных так, что цепь не может по ним скользить.

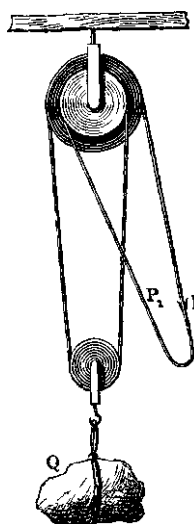
Свободно висящая часть этой цепи охватывает подвижный блок, на ось которого действует груз. Если сила (рука), действующая на цепь, заставляет вра-

¹⁾ Отсюда немецкое название этого полиспаста: *Potenzflaschenzug*, степенной-полиспаст.

щаться дифференциальный блок, то большой блок подымает вверх бблший кусок цепи, чем на другой стороне выпускает малый блок. Если окружность большого блока будет, например, 60 см, а окружность малого 55 см, то один оборот блока вытянет 60 см цепи и выпустит 55 см. Таким образом, часть цепи, несущая груз, укоротится на 5 см; а так как она двойная, то груз при этом подымается только на $2 \cdot 5$ см. Значит, в этом примере перемещение руки будет в 24 раза больше перемещения груза и, следовательно, для равновесия последняя сила должна быть в 24 раза больше первой!).

Своеобразное приложение того же принципа представляют весы Роберваля (рис. 139). Роберваль (1602—1675) был хороший математик, принимавший горячее участие в математических диспутах своего времени. Он был членом Парижской академии со времени ее учреждения в 1665 году.

Рис 138



Дифференциальный полиспасть.

Весы Роберваля

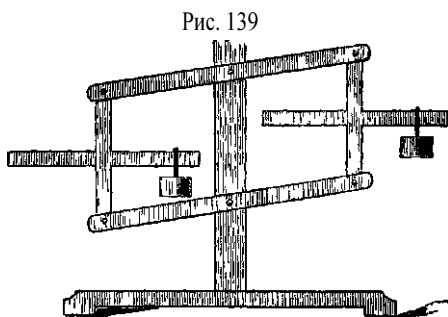


Рис. 139

Два двуплечих рычага одинаковой длины вращаются около осей на вертикальном штативе. Как показывает рисунок, они соединены с двумя крестами одинаковой величины при помощи четырех шарниров. Одна полоса каждого креста находится в вертикальном положении, другая в горизонтальном. При вращении рычагов оба креста удерживают свое отвесное положение, так что каждая точка первого движется вверх настолько же, насколько каждая точка „другого креста движется вниз. Поэтому два груза одинаковой величины должны находиться в равновесии независимо от того, на какое именно место креста они положены.

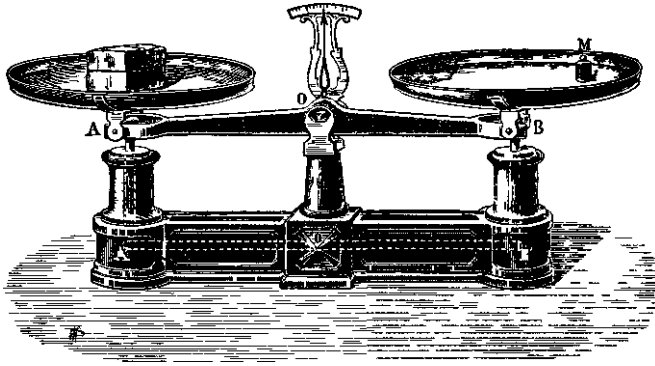
На этом основаны так называемые столовые весы (рис. 140). Их чашки поддерживаются вертикальными стержнями, которые связывают концы коромысла со стержнем $A'B'$, находящимся в нижней части весов.

135. Начало возможных перемещений легко понять, если представить себе две силы в виде двух грузов, из которых каждый, A и B , весит 1 килограмм

Если окружности блоков будут O и o , то часть цепи, поддерживающая груз, при каждом обороте будет подыматься укорачиваться на $O - o$, груз, таким образом, будет на $O - o$ Значит, A 2 Отсюда и название дифференциального (разностного) полиспаста.

и из которых первый движется на a сантиметров вверх, а второй на b сантиметров вниз. Совершенно естественно, что здесь не будет никакого движения и, следовательно, будет иметь место равновесие, если перемещение каждого килограмма на один сантиметр вниз будет сопровождаться перемещением одного килограмма на один сантиметр вверх. Но это и будет иметь место, когда $A \cdot a = B \cdot b$.

Рис 140



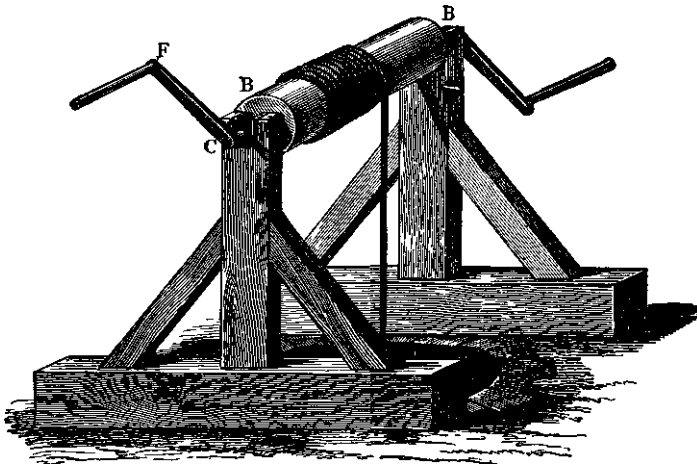
Столезле весы

Еслибы, например, движение 12 кг на 7 см вниз производило движение 14 кг на 6 см вверх, то соответственные две силы были бы в равновесии, так как 12×7 равно 14×6 .

Пример 1. Диаметры дифференциального блока имеют 28 и 27 см. Во сколько раз сила будет меньше груза?

Пример 2. Ворот (рис. 141). Каждую из двух его ручек вращает один человек. Подымаемое ведро весит 45 кг. Поперечник вала равен 20 см,

Рис. 141



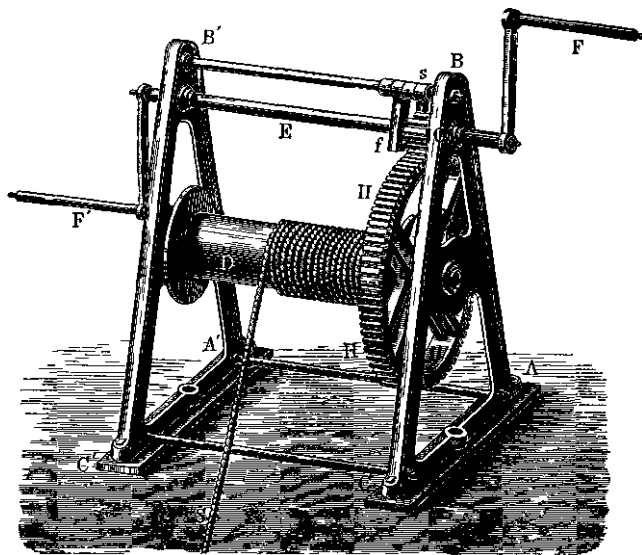
Простой воротъ

длина рукоятки CF равна 42 см. Какое давление должен оказывать каждый из этих людей на рукоятку?

Пример 3. Ворот с приводом (рис. 142). На каждую из двух рукояток действует рука, производя давление в 12 кг. Длина рукояток составляет 40 см, поперечник вала 22 см. Маленькое зубчатое колесо (шестерня) имеет 12, а колесо, насаженное на валъ, 72 зубца. С какой силой тянет веревка?

Пример 4. Очень часто при помощи пасов и шкивов движение одной оси передается на другую ось, на большем или меньшем разстоянш от первой. „Без-конечный" ремень охватывает оба колеса (оси) такъ, что не может соскользнуть с нихъ. Если одна ось приводится ВО вращение, напримеръ, паровой машиной, ТО

Рис. 142



Ворот с приводомъ.

должно вращаться и второе колесо, причем его край движется с тою же быстротой, съ какой движется край первого колеса. — Поперечники двух передаточныхъ колесъ имеют 140 см и 21 см. На первое из нихъ, через посредство рукоятки, действует давление в 25 кг. На вторую ось насажен круг в 60 см диаметромъ. Каким давлением на край этого круга можно сохранить равновесие?

Пример 5. Если повернуть винт на один оборотъ, ТО он перемещается в своей гайке по продольному направлению на небольшое разстояние, называемое высотой хода винта. Если длина рычага с каждой стороны оси равна 17'5 см, если на каждом конце (каждой рукой) производится давление в 15 кг и если, наконецъ, высота хода винта равна $2 \cdot 5$ мм, ТО как велико будет давление, производимое винтомъ? (Спротивлениемъ, которое производится трениемъ, здесь нужно пренебречь).

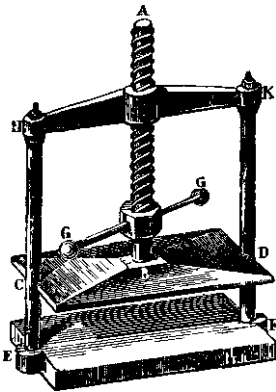
Пример 6. При безконечном винте (рис. 116) имеется рукоятка длиною в 22'5 см. Зубчатое колесо имеет 60 зубцовъ, а поперечникъ вала, на котором сидит это колесо, равен 15 см. Во сколько раз здесь груз будет больше силы?

136. Если тело может без сопротивления катиться или скользить по наклонной плоскости, ТО сила, достаточная для того, чтобы помешать этому скатыванию (и,

следовательно, удержат тело в равновесии), должна быть, очевидно, меньше веса тела. Стевин определил величину этой силы оригинальным способом, которому он придавал большое значение, так что даже заглавная страница одной из его книг снабжена чертежом, воспроизведенным на рис. 144.

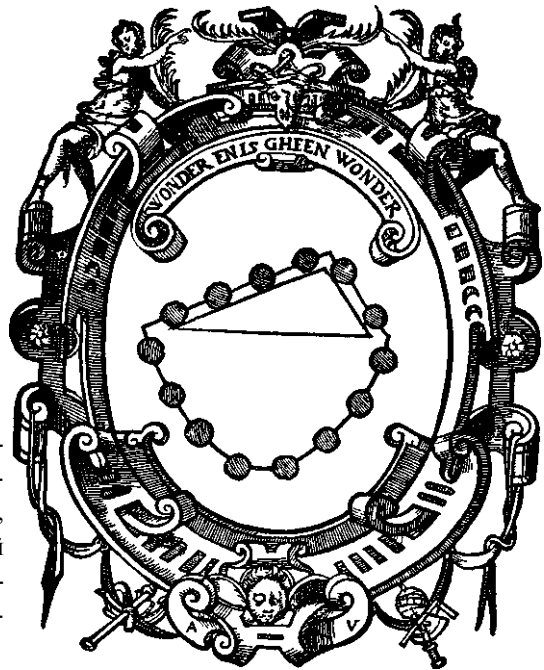
Однородная цепь положена вокруг трехсторонней призмы, нижняя сторона которой горизонтальна; цепь лежит на двух наклонных плоскостях призмы и висит в виде дуги под ее нижнюю часть; она находится, очевидно, в равновесии:

Рис 143



Винтовой пресс.

Рис. 144



и не чудо")

сама собою она не начнет соскальзывать ни с одной, ни с другой наклонной плоскости. Та часть цепи, которая висит ниже горизонтальной плоскости призмы, конечно, симметрична и тянет обе части цепи, лежащие на наклонных плоскостях, с одинаковой силой. Поэтому послед-
Рисунок Стевина на заглавной странице („Чудо

ния части цепи были бы в равновесии и в том случае, еслибы свободно висящая часть ее совершенно отсутствовала. Но веса этих двух частей цепи пропорциональны их длинам, следовательно, пропорциональны длинам этих двух наклонных плоскостей. Безразлично, будут ли эти части цепи иметь обыкновенную форму цепных звеньев или оне будут состоять из шаров одинакового веса, связанных шнурами. Таким образом, это разсуждение приводит к следующему положению: два тела, связанные одно с другим шнуром, уравнивают друг друга на двух наклонных плоскостях, если их веса пропорциональны длинам этих наклонных плоскостей. Если одна из наклонных плоскостей отвесна (рис. 145), то тело d висит свободно и действует всем своим весом, длиною же этой наклонной плоскости h в таком случае является так называемая высота другой наклонной плоскости l . Нашему положению можно поэтому дать такую формулировку: Тело (с) на наклонной плоскости удерживается в равновесии силою

(и?), которая действует в направлении наклонной плоскости и относится к весу тела, как высота (h) наклонной плоскости к ее длине (l).

137. Это предложение на первый взгляд как будто не согласуется с тем законом, что произведения сил на возможные перемещения должны быть одинаковы в обоих направлениях (§ 133); силы c и d (рис. 145), очевидно, проходят равные пути, но сами не равны. Галилей (§ 138 исл.) делает по этому поводу следующее замечание: Когда c движется по наклонной плоскости вверх или вниз, то длину наклонной плоскости нельзя считать тот путь, на величину которого тело смещается

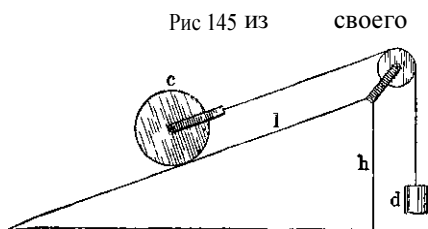


Рис 145 из своего начального положения, так как тяжесть, действующая на него, тянет его только по отвесному направлению вниз. В самом деле, в то время, например, когда d опускается на расстояние l , груз c подымается вверх только на величину высоты h наклонной плоскости. Следовательно, в конце концов согласование получается здесь и $c \cdot h$ равно $d \cdot l$.

Таким образом, положение, что произведения сил на возможные перемещения равны, нужно понимать так, что эти перемещения должны измеряться не в направлении движения, а в том направлении, в котором действует сила.

Примеръ. На уклон в 6 м длиною вкатывается цилиндр весом в 300 кг, который при этом подымается на высоту 0'5 м. Как велика сила, действующая на ось цилиндра в направлении этой наклонной плоскости?

138/ Настоящим основателем нового естествознания является Галилео Галилей. Он родился в Пизе в тот самый день, 18 февраля 1564 г., в который умер в Риме Рис. 146 Микель-Анджело.



Галилей-происходил из старинной дворянской фамилии. Его отец, „богатый детьми, но бедный деньгами“, первоначально предназначал его в купцы. Но сын делал такие успехи в латинской школе, что отец решил дать ему возможность посещать университет для изучения медицины. Однажды в 1583 г. Галилей заметил в Пизанском соборе, что две лампы различной величины, но висевшие на Ипнурах одинаковой длины, раскачались и продолжали качаться в такт друг другу. Раздумывая об этом явлении, он нашел, что оно противоречит сочинениям Аристотеля. Именно, лампада, удалившись дальше всего от положения равновесия, снова движется к нему, как бы падая (правда, не по отвесу,

Галилей. Но все же вниз). Она приходит к этому положению с известной скоростью, вследствие

чего проходит дальше положения равновесия, затем снова возвращается к нему и т. д.

Галилей понял, что стремление падать должно быть одинаково сильно у двух различных лампад, так как обе они двигались одинаково быстро и, следовательно, их падение происходило в одинаковое время. Аристотель же, напротив того, учил, что предмет вдвое большего веса падает с удвоенною скоростью.

139. Но Галилей нашёл, что последнее очень маловероятно: „если одна лошадь может пробегать в час 3 мили и другая столько же, ТО она не пробегутъ

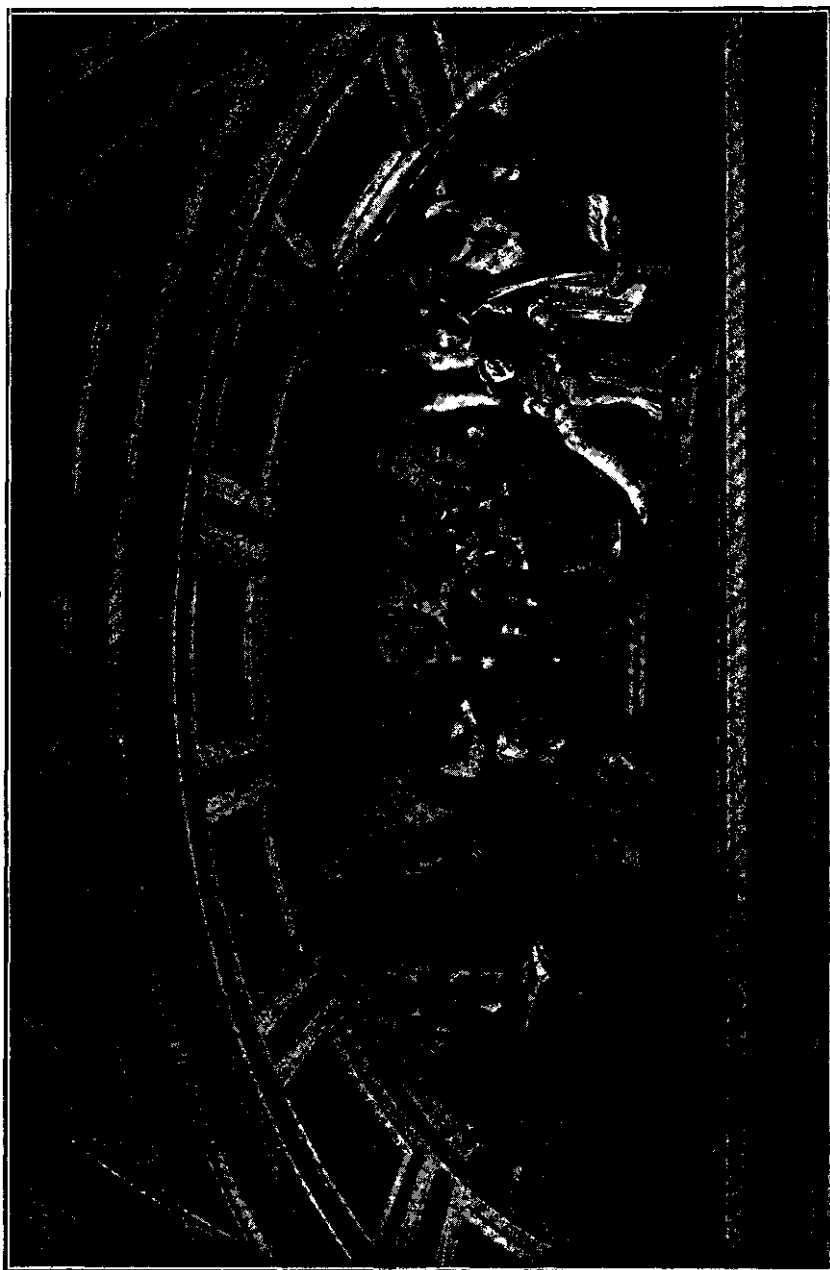
Рис. 147



Девятнадцатилетний Галилей наблюдает качания лампад в Пизанском соборе
(с картины в Тnbuna di Galilei во Флоренции).

6 миль, если их запретить вместе; и если одна фунтовая гиля падает на 16 футовъ в секунду и другая фунтовая гиля столько же, ТО эти два груза не могут падать вдвое скорее, если их связать друг с другом такъ, чтобы они образовали одну двухфунтовую тяжесть". Это доказательство так ясно, что нужно только удивляться, как его не видели раньше —Однако, против 2000-летнего авторитета Аристотеля молодой человек не мог выступать с одними только умозаключениями.

Он должен был произвести опыты, сделать которые было особенно легко с Падающей башни в Пизе (она видна справа на заднем плане рис. 148) Галилей бросал с нея тела различного веса и нашелъ, что все тела падают с одина-



=5 з

$$\frac{23E}{K S}$$

$$\frac{8g}{M}$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2}$$

$$\frac{95}{SS-o}$$

a||

$$\frac{24}{BO} ex$$

$$\frac{23}{CX}$$

«=(5

ковой скоростью, если только их поверхность не очень велика в сравнении с их весомъ, что может сделать заметным сопротивление воздуха падающему телу.

Но если тело имеет большую поверхность по отношению к своему весу (перья, бумага и т. п.), то оно падает медленнее. То же относится и к мелко раздробленным частицам тяжелых веществ, например, к опилкам, так как и здесь поверхность велика в сравнении с весом. В самом деле, если поперечник свинцового шарика равен $1/10$ поперечника другого свинцового шарика, то его поверхность составит только $1/100$ поверхности, а вес $1/1000$ веса второго шара. Таким образом, меньший груз будет испытывать сопротивление в 10 раз меньше, чем большой, но все же в 10 раз больше, чем каждая тысячная доля последнего.

Позднее, уже после изобретения воздушного насоса, было доказано, что в безвоздушном пространстве кусок свинца и перо падают действительно с одинаковой скоростью. Но доказательством этого может также служить следующий очень простой опыт. На большую монету, которую держат в горизонтальном положении, накладывают кусочек бумаги, меньше монеты, и затем дают монете падать вместе с бумажкой. Теперь бумажка падает на землю с той же скоростью, как и монета, так как ей не приходится преодолевать сопротивления воздуха. Конечно, нужно, чтобы монета падала в горизонтальном положении и чтобы воздух не мог проникнуть между нею и бумажкой.

140 Эти опыты Галилея на Падающей башне в Пизе послужили началом целого ряда других опытов, при помощи которых Галилей обосновал учение о движении; этим он, так сказать, возвел опыт в метод исследования природы. Конечно, и раньше уже в некоторых отдельных случаях производились опыты как, например, опыты Птолемея над преломлением света и опыты Аристотеля с определением веса пузыря. Но основание настоящего искусства экспериментирования — искусства, так сказать, выпрашивать природу посредством систематических опытов — представляет одну из великих заслуг Галилея. Опыты на Падающей башне в Пизе дали толчок к разработке подобных методов, благодаря которым связь между явлениями природы становится все яснее и яснее.

Совершенно естественно, что молодой человек, нашедший ошибки у Аристотеля, мог возгордиться; но товарищи, с которыми он много говорил об этих вещах, совершенно не понимали его идей. Он не публиковал о них ничего, пока не достиг 25 лет от роду и не получил, по рекомендации Дель Монте (§ 130), места учителя математики в Пизе.

Весьма основательная критика Аристотеля Галилеем, само собою разумеется, встретила большое одобрение, но создала ему также многих противников, главным образом потому, что Галилей подрывал авторитет

Рис 149



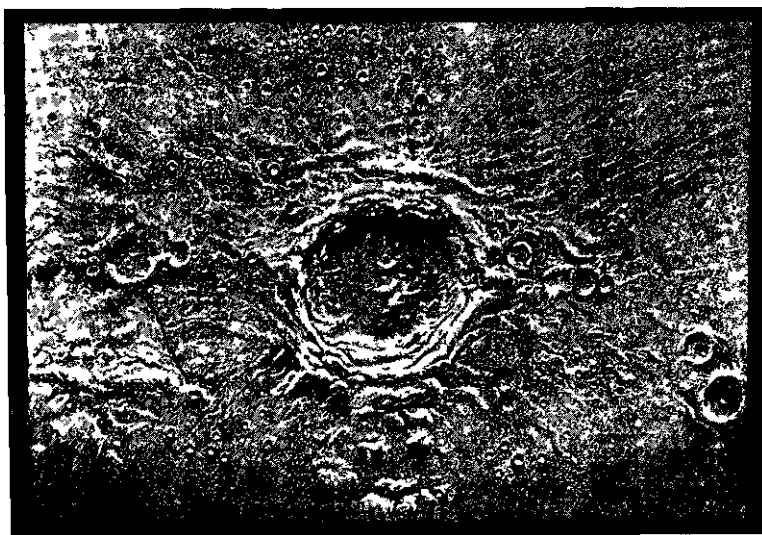
Аристотеля. Его противники воспользовались также тем обстоятельством, что Галилей (впрочем, совершенно справедливо) раскритиковал землечерпательную машину, изобретенную сыном великого герцога Козимо I. Ему устраивали столько неприятностей, что он, наконец, отказался от своей должности. К счастью, его карьера

Юпитер и его спутники. несколько не пострадала от этого, так как Дель Монте и один венецианский друг, по имени Сагредо, пристроили Галилея на место преподавателя университета в Падуе, которая в то время принадлежала Венецианской республике. Здесь, в возрасте 27 лет, Галилей

произвел те работы, которые составляют основу учения о движении и о которых будет еще сказано ниже. Кроме того, он читал здесь превосходные лекции многочисленным слушателям, к которым принадлежал также Густав Адольф, впоследствии король Шведский.

В 1609 И. Галилей услышал об изобретении голландской зрительной трубы (§ 130) и тотчас взялся сам за ее изготовление. Готовый инструмент он послал своему правительству в Венецию. Оказалось, что этот инструмент был гораздо лучше полученного из Голландии. Сенаторы, которые осматривали с башни

Рис 150



Лунный ландшафт с кратером „Коперник“

Адриатическое море в эту трубу и нашли, что при ее помощи можно увидеть вражеский флот на большом расстоянии, наградили Галилея назначением ему пожизненной пенсии, которая была втрое больше его жалованья.

141 Сам Галилей дал своей трубе совершенно другое употребление, сделав при ее помощи в короткое время целый ряд важных открытий на небе. Впрочем, имея в руках хорошую зрительную трубу, конечно, было нетрудно сделать эти открытия. Несмотря на большое удивление, которое они вызвали, и связанный с ними интерес, их все же нельзя считать величайшим из дел Галилея, принимая даже во внимание совершенство и тщательность его работы. Уже в 1610 г. он работал с трубой, равной которой в Голландии не было даже в 1637 г.; там в это время еще не могли наблюдать многого из того, что открыл Галилей. Важнейшими астрономическими открытиями Галилея были следующие.

142. Планета Юпитер имеет четыре луны или спутника, которые движутся вокруг нея. Но так как их пути лежат приблизительно в той же плоскости, в которой движутся вокруг солнца земля и Юпитер, то кажется, будто эти луны движутся около Юпитера по прямой линии и притом так, что они поочередно

отходят от Юпитера то в одну, то в другую сторону, а затем снова приближаются к нему.

При наблюдении луны Галилей нашел, что ее поверхность усеяна кратерообразными горами, которые отбрасывают черные тени частью на равнины, частью

Рис. 151 внутрь кратеров. Галилей тотчас же указал, как можно опре-



делить высоты этих гор, измеряя длину их теней при известном положении солнца.

Неподвижные звезды в телескоп не кажутся больше, скорее они даже меньше, резче и сильнее мерцают, но их видно значительно больше, чем при наблюдении невооруженным глазом. Беловатое сияние Млечного Пути, как показала зрительная труба, раз-

решается в неисчислимые рои слабых звезд.

Часть созвездия

Близнецов,

143

В 1610 г. Галилей послал сочинение об этих от-

как она пред-

крытых, между прочим, также и Козимо II, который был в то

ставляется нево-

оруженному

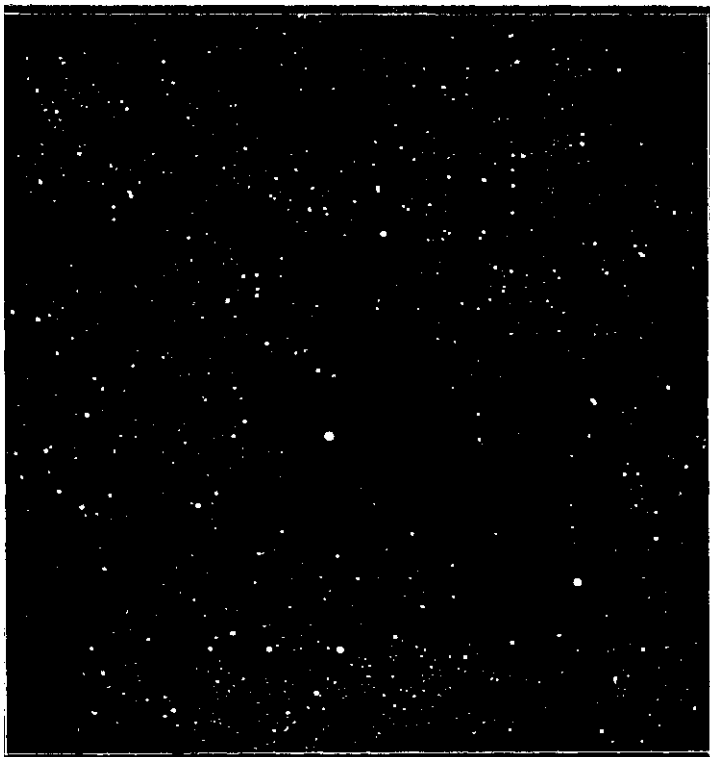
времени великим герцогом на его родине в Тоскане. Кроме того,

глазу.

Галилей оказал ему особую честь, назвав луны Юпитера Меди-

цейскими звездами. В ответ он получил профессорскую кафедру в Пизе

Рис- 152



То же место неба, что и на рис. 151, в зрительную трубу.

с большим содержанием, что, однако, не обязывало его жить в Пизе. Напро-

Осенью того же года Галилей мог продолжать свои небесные открытия на своем новом покойном месте.

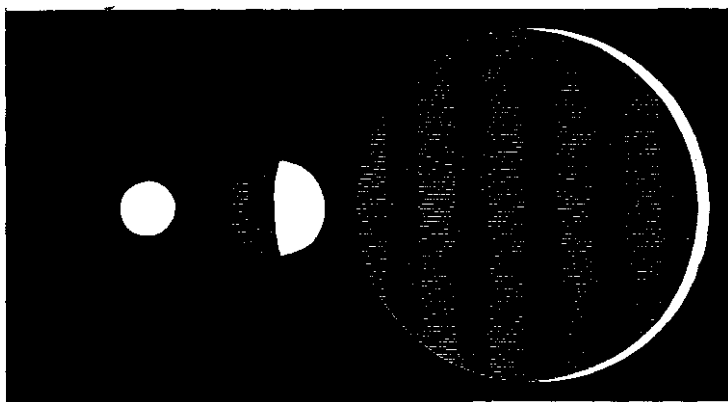
Теперь он наблюдал, что Венера не всегда представляется правильным кружком, но совершенно так же, как луна, показывает фазы соответственно своему положению относительно солнца и земли.

И

То же явление обнаружилось у Марса. Но так как последний дальше от солнца, чем земля, то у него обращенная к нам сторона всегда освещена больше, чем на половину, а неосвещенной бывает только незначительная ее часть.

Далее Галилей заметил нечто необыкновенное у Сатурна. Ему казалось, будто „старого владыку поддерживают, никогда не покидая его, два спутника, по одному с каждой стороны“. При дальнейшем наблюдении оказалось, что эти спутники исчезли, и Галилею так и не удалось разрешить эту загадку.

Рис. 153



Венера позади, рядом и (справа) перед солнцем.

Наконец, той же осенью Галилей открыл еще, что на поверхности солнца есть пятна (рис. 154), и, хотя они с течением времени изменялись и, наконец, исчезали, а другие появлялись, Галилей успел извлечь из их движений заключение, что солнце вращается около своей оси.

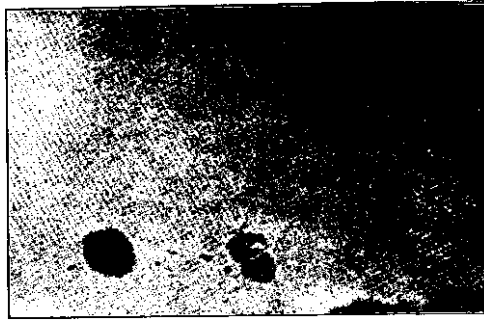
144. Прошло почти 70 лет с тех пор, как Коперник опубликовал свою систему. Лишь немногие знали ее, лишь немногие умели оценить ее значение. Она имела, конечно, и свои слабые стороны (§ 71), но в упомянутых открытиях она нашла себе много подтверждений. Совершенно так же, как земля, планеты освещены с одной только стороны и это обстоятельство делает вероятным родство между ними и землей. Как земля, некоторые планеты имеют спутников. Значит, и здесь есть сходство. И даже само солнце принадлежало к той же семье, хотя и являлось членом высшего порядка: и оно вращалось около своей оси.

Галилей не упустил случая обратить на это внимание; но прошло немного времени и духовенством, пред лицом этих открытий, овладело большое беспокойство. Мнения, однако, разделились. Члены орденов Августинцев и Кармелитов защищали Галилея и придерживались мнения, что его открытия не стоят в про-

тиворечии с Библией. Кардинал Берберини (позднее папа Урбан VIII) даже воспевал Медичейские звезды и солнечные пятна.

Тем резче отнеслись к этому некоторые другие, именно, несколько, доминиканских монахов, которые объявили учение Коперника еретическим, а Галилея, следовательно, как приверженца этого учения, еретиком. По их мнению его открытия противоречили Библии и Аристотелю, который учит, что солнце есть чи-

Рис. 154



Часть солнца с солнечными пятнами.



стейший огонь, так что на нем не может быть пятен. Когда Галилей предложил им самим посмотреть на солнце в зрительную трубу, они отказались прикасаться к такому дьявольскому прибору. В одном письме к Кеплеру, который в то же время давал подтверждения правильности системы Коперника совершенно иным путем, Галилей жалуется: „Что ты скажешь о первых ученых здешнего факультета, которым я сам предлагал тысячу раз показать мои работы и которые с упрямой ленью нажавшейся змеи не хотят видеть ни планет, ни луны, ни зрительной трубы. Эти люди думают, что наука лишь та или другая книга, как Энеида или Одиссея, и что истины нужно искать не во вселенной и не в природе, а (говоря их собственными словами) в сравнении текстов”.

Здесь Галилей кладет палец прямо на язву, которая требовала серьезной операции. До Галилея истины искали сравнением Библии с Аристотелем и т. д. и чистым умозрением. Галилей разбивает эти оковы и ищет истин природы исключительно в том, что обращается к самой природе.

Так как яростные нападки Доминиканцев не прекращались и так как они в то же время старались привлечь на свою сторону папу Павла V, то Галилей считал благоразумным приехать в Рим (1615). Здесь у него были хорошие друзья, а за несколько лет перед тем он сделался членом академии, основанной князем Чечи, где показывал микроскоп своей работы. Сам папа благосклонно выслушивал доклады Галилея о том, что не подобает отрицать то, что видишь собственными глазами. Но папа должен был что-нибудь предпринять и потому передал дело на рассмотрение особой комиссии. Мнение комиссии было представлено в 1616 году и оказалось очень неблагоприятным для Галилея. Все книги, которые утверждали, что движение земли не противоречит Библии, запрещались. Даже

в книге Коперника, которую терпели целых 70 лет, должны были быть вычеркнуты все те места, в которых учение о движении земли сопоставлялось с различными местами Библии.

Это побудило Галилея к усиленной деятельности, а так как и его противники не уменьшали своих усилий, то папа увидел себя вынужденным передать дело на рассмотрение святой инквизиции. Ее приговор решил, что учение Галилея о движении земли ложно и еретично.

Если припомнить власть инквизиции и те страшные кары, которые она налагала, то нельзя удивляться тому, что Галилей удалился в Арчетри близ Флоренции, чтобы здесь спокойно жить и работать.

145. На старости лет Галилей стал чувствовать потребность поведать миру о тех вопросах, над разъяснением которых работал всю свою жизнь. Он написал беседу трех людей Сагредо, Сальвиати (так звали одного из его венецианских друзей) и Симпличио. Первые двое являются приверженцами Коперниковой системы мира, последний же стоит за систему Птолемея. В беседе спокойным тоном излагаются доводы за ту и за другую системы, но в ней легко видеть, что доводы в пользу системы Коперника обладают гораздо большим весом. В 1630г. Галилей отправился в Рим и здесь, при помощи одного друга, состоявшего секретарем при папе, ему удалось получить разрешение цензуры на печатание этой книги.

Эта книга вышла в свет во Флоренции в 1632 г. и теперь гроза разразилась с удвоенной яростью. В числе ярых противников Галилея находился один пизанский профессор по имени Киарамонти, который написал формальную жалобу, снабдив ее обращением к кардиналу Берберини, глгомяннику папы. Эти действия не замедлили оказать свое влияние. Противникам Галилея удалось уверить папу Урбана VIII, что в добродушном, но невежественном Симпличио представлен сам папа. Дело было передано на рассмотрение комиссии, составленной из врагов Галилея, в числе которых был также Киарамонти. Ее приговор гласил, что Галилей нарушил запрет, наложенный на него в 1616 г.¹⁾, и должен предстать пред святой инквизицией.

Галилей был вызван в Рим. За него вступился великий Иерцог Фердинанд II, указывая на его старость, но безуспешно. Галилей должен был ехать в Рим*; где был помещен под надзор, сначала легкий, затем более строгий; спустя полгода, в течение которого он несколько раз допрашивался, ему был объявлен приговор. В присутствии инквизиторов, в доминиканской церкви Галилей должен был под присягой отречься от движения земли. — Слова, которыми Галилей будто бы пробормотал тут же: „и все-таки она движется“, являются выдумкой позднейшего времени. Кроме того, Галилей был присужден к тюремному заключению и в течение трех лет должен был еженедельно читать семь покаянных псалмов.

*) Подлинность протокола 1616 г., в котором было сказано, что Галилей обязуется отказаться от Коперникова учения и не защищать его ни устно, ни письменно, в последнее время подвергалась большим сомнениям *Прим. пер.*

Тюремное наказание было, однако, вскоре смягчено. Галилей снова получил разрешение жить в Арчетри, но ему было строго воспрещено принимать посетителей. Несмотря на увеличивающуюся слабость, он усердно занимался научными работами. В 1634 г. Галилей издал свои „Беседы об одной новой науке“, в кото-

Рис. 155



Галилей сообщает свои открытия Торричелли (сидящему) и Вивiani.
(С картины в Tnbuna di Galilei).

рых он описывает свои основные открытия в области учения о движении. Когда Галилей под конец ослеп и оглохъ, два молодых ученых Торричелли и Вивiani, имевшие доступ к нему, записывали его слова. На их руках Галилей и скончался в 1642 г. Его прах покоится в церкви Санта Кроче (Св. Креста) во Флоренции между останками других великих людей Тосканы.

Д в и ж е н и е

146. Открытие простейших законов движения было сопряжено с гораздо большими трудностями, чем открытие законов равновесия.

Аристотель различал насильственные и естественные движения. Последние, по его мнению, должны быть круговыми (движения на небе) или в крайнем случае прямолинейными, направленными либо к центру земли, либо в обратную сторону, сообразно чему тела разделяются на тяжелые и легкие.

Такого рода классификация на первый взгляд может показаться систематической и может производить впечатление учености, на самом же деле она не имеет никакого научного значения. Характеризуя природу движения более подробно, Аристотель говорит, что для того, чтобы тело двигалось равномерно, необходимо непрерывное действие на него сил, толкающих его вперед, потому что в противном случае тело расходует свою движущую силу и приходит в состояние покоя. Подтверждением этого воззрения могут служить, на первый взгляд, многие явления повседневной жизни. Тем труднее было Галилею доказать, что справедливо как раз обратное положение, а именно, что каждое тело сохраняет свое состояние движения (состояние покоя, если оно находится в покое, состояние движения по неизменному направлению с постоянной скоростью, если оно движется), если на него не воздействует нечто такое, что изменяет это состояние, и это нечто, могущее изменять состояние движения тела, называется силой. Это—закон инерции или косности.

То обстоятельство, что тело, находящееся в покое, продолжает оставаться неподвижнымъ, вряд ли может подлежать сомнению; но то, что оно сохраняет также однажды принятое состояние движения, повидимому, противоречит повседневному наблюдению. Галилей показалъ, что причину остановки катящегося шара следует искать в известных силахъ, обусловленных частичками песка, неровностями сопротивлениемъ воздуха и т. д. Чем полнее исключаются эти посторонние обстоятельства, тем яснее проявляется закон инерции. Такъ, напримеръ, очень гладкий шар может катиться по жолобу, о битому пергаменту, весьма долго.

147. Галилей открылъ, далее, что тело сохраняет свое движение и в томъ случае, если на него начинает действовать новая сила, сообщающая телу движение в каком бы то ни было направлении. Въ этомъ случае тело одновременно имеет и старое и новое движение, т. е. приходит как раз в точку, в которую оно пришло бы, если бы сначала имело только первое, а затем только второе движение.

То обстоятельство, что катящийся по земле шар останавливается, можно, наконецъ, толковать таким образомъ, что он сохраняет свое первоначальное движение, зерна же песку и неровности сообщают ему своими ударами такое же движение, но в обратном направлении.

Примеры. Акробатъ, который, стоя, едет на лошади и желает перепрыгнуть через барьеръ, должен прыгать прямо вверхъ, чтобы попасть на прежнее место лошади.

Предметъ, падающий с мачты движущегося судна, попадает на место, расположенное как раз по отвесной линии под той точкой, из которой он падалъ.

В ТО время, как предмет падать, судно несколько подвинулось вперед, НО и самый предмет, обладая скоростью судна, тоже подался вперед на такое же расстояние. Этим опровергается возражение, которое не раз выставлялось против вращения земли, именно, что человек, прыгающий вертикально вверх, должен стать на землю несколько западнее того места, с которого он подпрыгнул.—Равнымъ образомъ, теряет силу возражение Тихо Браге, что камень, падающий с башни, должен лечь немного к западу от башни, чего, однако, Тихо Браге не могъ увидеть.

Человекъ, стоящий в вагоне, который сразу приходит в движение или сразу останавливается, в первом случае падает назадъ, в последнем — впередъ.

Желая ВО время путешествия в вагоне бросить вверх мяч и поймать его, мы должны бросать его вертикально вверх, потому что он уже обладает скоростью вагона и сохраняет ее ВО время своего полета вверх и внизъ.

148. Аристотель знает, конечно, что падающее тело движется постепенно все быстрее и быстрее; однако, он думалъ, что тяжесть сама по себе может поддерживать лишь равномерное движение тела. Увеличение скорости, по его мнению, следует приписать чему-либо другому, и именно тому, что воздух низвергается вследъ за падающим телом и толкает его внизъ.

Галилей и в этом случае пришел к прямо противоположному выводу. Именно, раз тело достигло известной скорости по направлению внизъ, ТО уже не требуется решительно никакой силы, чтобы поддерживать эту скорость, и тяжесть, действуя непрерывно, должна поэтому все время увеличивать однажды приобретенную телом скорость. Что же касается воздуха, ТО он не ускоряет падения. а, наоборотъ, замедляет его, благодаря сопротивлению, которое он оказываетъ.

Теперь является вопросъ, действует ли тяжесть на падающее тело с тою же самою силой, как и на покоящееся. Этот вопрос может быть разрешен только посредством опыта. Однако, производить опыты над быстро движущимися телами не легко. Поэтому Галилей сначала разбирает вопрос математически. Въ основу своих вычислений он кладет предположение, что тяжесть въ каждую секунду сообщает телу одно и ТО же изменение скорости, независимо от того, в каком состоянии движения находится тело; а затем он исследуетъ, согласуются ли действительныя движения с движениями, вычисленными в этомъ предположении.

149. Представим себе, что в определенный момент времени тело начинает свободно падать, и пусть тяжесть в течение секунды сообщает ему известную скорость, приблизительно 32 фута. Еслибы по истечении этой секунды действие тяжести на тело прекратилось, ТО в каждую последующую секунду оно проходило бы по 32 фута.

Но в продолжение второй секунды, по предположению Галилея, тяжесть действует на тело с тою же силой, как и в первую секунду, и потому увеличивает скорость тела с 32 футов (в начале второй секунды) до 64 футов (въ конце второй секунды). В течение третьей секунды тяжесть должна увеличить скорость тела с 64 футов до 96 футов и т. д. Итакъ, скорость тела была бы такова:

в начале движения	О фут.,
в конце первой секунды	32 „

в конце второй секунды . . .	64 фут.,
третьей „ . . .	96 „
„ „ четвертой „ . . .	128 „

В каждый момент скорость равна 32 футамъ, повтореннымъ столько разъ, сколько секундъ тело падало¹⁾.

Что же касается вопроса, где находится тело в различные моменты или какъ далеко оно ушло от исходной точки, ТО это можно определить на основании следующихъ соображений. В первую секунду тело имело всевозможныя скорости между 0 и 32 футами, и, конечно, скорость возрастала от начального значения 0 до конечной величины 32 равномерно. Можно принять, следовательно, что тело в течение этой секунды двигалось со средней скоростью в 16 футовъ. В такомъ случае оно прошло в эту секунду 16 футовъ. Для двухъ первыхъ секундъ средняя скорость равна 32 футамъ. Тело, движущееся с такой скоростью, в течение двухъ секундъ проходит 64 фута. В три секунды скорость возрастает от 0 до 96 футовъ, средняя скорость есть, следовательно, 48 футовъ, а путь, пройденный теломъ с такою скоростью за три секунды, равен $48 \times 3 = 144$ фута. Итакъ, тело падаетъ

в 1 секунду на 16 фут. или на 16Х1Х1Х1 ФУ ^т ->
„ 2 секунды 64 „ „ 16х2Х2 „
„ 3 „ „ 141 „ „ „ 16Х3Х3 „
„ 4 „ „ 256 „ „ „ 16Х4Х4 „

и т. д.

Так как средняя скорость падающего тела вдвое меньше, чем конечная скорость, т. е. равна 16 футамъ, умноженнымъ на число секундъ, ТО пройденный путь равен 16 футамъ, умноженнымъ на вторую степень числа секундъ²⁾.

На рис. 156 слева на сплошной линии указаны пути, проходимые в каждую отдельную секунду, а на пунктирной линии — скорости в конце этих же секундъ, т. е. пути, которые были бы пройдены теломъ в секунду, еслибы оно неизменно сохраняло скорость, приобретенную в конце предыдущей секунды.

Пример 1. Камень, падая в колодезь, достигаетъ дна в три секунды. Какова глубина колодца и с какой скоростью камень достигаетъ земли?

Пример 2. Шарикъ, падающий с аэростата, достигаетъ земли, имея скорость 245 м. С какой высоты и сколько времени он падал ($g = 9.8 \text{ м}$)?

Пример 3. Сколько времени нужно телу, чтобы упасть с высоты в 160 м (высота башен Кёльнского собора)?

150. Так как свободно падающее тело уже в небольшие промежутки времени достигаетъ сравнительно большихъ скоростей и проходитъ значительные пути, ТО даже на наклонной Пизанской башне было не легко проверить найденные законы.

¹⁾ Если обозначимъ скорость в конце первой секунды через g , ТО скорость по истечении t секундъ будетъ $v = gt$.

²⁾ Если s означаетъ высоту падения за t секундъ, ТО $s = \frac{1}{2}gt^2$. Такимъ образомъ, мы имеемъ два уравнения: $s = \frac{1}{2}gt^2$ и $s = \frac{1}{2}gt^2$ с тремя величинами s , t и g (всегда равно 32, Иначе 32/« футовъ или 9.8 м). Значитъ, если даны две из этихъ трехъ величинъ, ТО третью можно вычислить. Если исключить из обоихъ уравнений s , ТО получается уравнение $v^2 =$

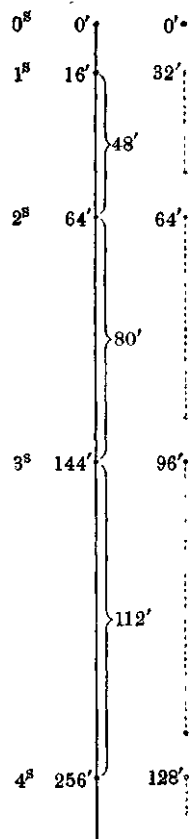
Чтобы облегчить такую проверку, нужно было так или иначе создать силу, которая бы действовала на свободно падающее тело слабее, чем сила тяжести. Галилей достиг этого, производя опыты над падением тел по наклонной плоскости; при этом он по возможности устранял вредные влияния (сопротивление трения) темъ, что пускал шар из слоновой кости по жолобу, выложенному пергаментомъ (см. рис. 148).

Если что-нибудь препятствует шару падать по наклонной плоскости, то, как нашел Стевин (§ 136), шар производит на такое препятствие давление в направлении наклонной плоскости, которое так относится к весу шара, как высота наклонной плоскости к ее длине. Если, напримеръ, высота = 1, а длина = 8, то шар будет давить на препятствие с силой равной одной восьмой его веса; иными словами, на шар действует сила, равная восьмой части силы тяжести. Галилей и полагалъ, что такая уменьшенная сила должна сообщать шару соответственно меньшую скорость в каждую секунду, т. е. в упомянутом примере восьмую часть от 32 шш 4 фута в конце первой секунды, 8 футов в конце второй и т. д., по тому же закону, как и в случае свободного падения, с тою только разницей, что основная скорость здесь не 32 фута, а 4^1). Путь, проходимый телом в известное время по наклонной плоскости, так же, как и в случае свободного падения, равен тому пути, который был бы пройден за то же самое время, еслибы тело двигалось со средней скоростью, т. е. со скоростью, равной половине конечной скорости. Отсюда для наклонной плоскости получается законъ, соответствующий второму закону свободного падения').

Такого рода опытами, при которых легко было наблюдать и измерять движение тела, Галилей доказал справедливость предположения, послужившего исходной точкой его разсуждений.

151. Если тело бросают вверх с начальной скоростью, напримеръ, в 128 футовъ, то сила тяжести сообщает ему въ каждую секунду скорость в 32 фута, направленную вниз; благодаря этому скорость тела, наконецъ, уменьшается до нуля. Скорость тела по истечении

Рис. 156



Свободное падение.

1 секунды	будетъ	128 —	32 = 96 фут.
2 секундъ „		$128 - 2 \times 32 = 64$	„
3 „ „		$128 - 3 \times 32 = 32$	„
4 „ „		$128 - 4 \times 32 = 0$	„

*) Для свободного падения $v = gt$, для падения по наклонной плоскости, уклон которой определяется отношением 1:8, $v = \frac{1}{8}gt$.

*) При свободном падении $s = \frac{1}{2}gt^2$, при падении по наклонной плоскости с уклономъ 1:8 величина $s = \frac{1}{2}gt^2 \cdot \frac{1}{8}$.

Таким образом, при поднятии скорость тела убывает по тому же закону, по какому при падении она возрастает. Время, необходимое телу для движения вверх, равно тому времени, в течение которого оно падает с достигнутой высоты, и скорость, с которой оно достигает земли, равна той начальной скорости, с которой тело было брошено вверх. При падении тело проходит каждую точку своего пути с той же скоростью, как и при движении вверх, но только в обратном направлении.

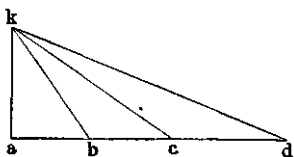
Пример 1. Ружейная пуля пущена вертикально вверх с начальной скоростью в 3675 м. Сколько времени она летит вверх и какой высоты достигает? Когда и с какой скоростью она возвращается назад?

Пример 2. Я бросаю мяч вертикально вверх и через 4 секунды снова ловлю его; какой высоты достиг мяч и какова его конечная скорость?

Пример 3. Дикий гусь летит прямо надо мною. Ружейная пуля, с начальной скоростью в 480 м, настигает его в $\frac{1}{4}$ секунды. С какой скоростью пуля ударяет в гуся? На какой высоте гусь летел и сколько времени спустя после выстрела он падает на землю? Сопротивление воздуха не принимать в расчет.

152 На наклонной плоскости с уклоном 1:8 шар (§ 150) в восемь секунд достигает скорости $4 \times 8 = 32$ фута, т. е. той самой скорости, которой свободно падающее тело достигает в одну секунду. Средняя скорость шара равняется 16 футам, а, следовательно, путь, им пройденный, $16 \times 8 = 128$ футов. Путь этот в восемь раз длиннее, чем путь, проходимый телом при свободном падении в одну секунду. Но, проходя путь в восемь раз больший, тело опускается вниз по наклонной плоскости лишь на высоту, равную высоте наклонной плоскости. Отсюда вытекает важное положение, что тело, падающее по наклонной пло-

Рис. 157



Тело на различных наклонных плоскостях одинаковой высоты достигает одной и той же конечной скорости.

скости, достигая ее основания, обладает той же скоростью, какую оно имело бы, если бы свободно упало с высоты, равной высоте наклонной плоскости. Это справедливо для какого угодно уклона, так как уклон не влияет на скорость, которой достигает тело, падающее с данной высоты¹⁾. Шарь, падающий из точки *k* (рис. 157), приходит в точку *b*, в точку *c* и в точку *d* с той же самой скоростью, как и в точку *a*.

153. То же самое справедливо и в том случае, когда тело скатывается по нескольким наклонным плоскостям последовательно. Если, например, шар скатывается по наклонным плоскостям *km* и *mn* (рис. 158), то в точку *n* он приходит с той

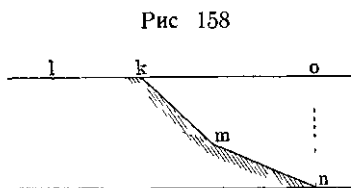
*) Если высота наклонной плоскости есть *a*, а ее длина *b*, то стремление падать по такой плоскости выражается через *-r-g*. Если, далее, скорости, которых достигает тело при свободном падении с высоты *a* и при скатывании по наклонной плоскости, обозначить соответственно через *v* и *V*, то (§ 149):

$$2ga = v^2 \text{ и } 2 \frac{a}{b} gb = V^2 \text{ или } 2ga = V^2, \text{ следовательно, } v = V.$$

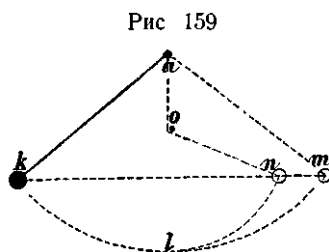
же скоростью, с которой пришел бы, еслибы скатился по наклонной плоскости ln или же упал с высоты on .

То, что справедливо для пути kmp , имеющего один излом, справедливо также для пути с несколькими изломами, а также для пути с бесконечно большим количеством изломов, т. е. для криволинейного пути. Итак, тело, двигаясь вниз под действием силы тяжести, приобретает скорость, которая совершенно не зависит от пути тела и обуславливается только разностью высот начальной и конечной точки пройденного пути. Если путь тела снова подымается, то тело мало по малу теряет свою скорость, и когда оно снова достигает первоначальной высоты, его скорость делается равной нулю, независимо от того, по какому пути оно достигло этой высоты.

Галилей нашел подтверждение и этому ряду умозаключений, именно в следующем опыте. Шар k (рис. 159) с помощью бичевки подвешен к гвоздю a . Если пустить шар из точки k , то он опишет дугу $kltm$, и притом так, что его скорость в наиболее низкой точке l пути будет наибольшей, а в точке m ,



Падение по двум наклонным
плоскостям.



Путь, описываемый качающимся
шаром.

лежащей на одной высоте с k , снова будет равной нулю. Затем шар начинает качаться взад и вперед между точками k и m , пока внешние причины (сопротивление воздуха) мало по малу не заставят его остановиться.

Если укрепить теперь другой гвоздь в точке o и снова пустить шар из точки k , то он опишет путь kin . Точка n лежит на одной высоте с точками k и m . Затем шар пробегает тот же путь в обратном направлении и приходит в точку k . Высота, которой он достигает, не зависит от формы пути.

134. Прибор, подобный ak (рис. 159), называется маятником. Таким маятником была люстра в Пизанском соборе, обратившая на себя внимание молодого Галилея. Он изучил законы движения маятника более подробно и нашел, как уже было упомянуто выше, что время колебания маятника не зависит от его веса. Скорость падения для всех тел одна и та же.

155. Далее, времена колебаний не зависят от величины размахов. В этом легко убедиться, если подвесить два шара на шнурах одинаковой длины, удалить один из них от положения равновесия слегка, другой значительно и затем пустить оба одновременно.

Если половина одного размаха km (рис. 160) вдвое больше половины другого lt , то высота pm по отвесу приблизительно вчетверо больше высоты gt . Время, которое тело употребило бы на то, чтобы упасть на расстояние pm , должно быть, следовательно, вдвое больше времени, в течение которого тело пройдет расстояние

от (§ 149). Но за вдвое бблыпий промежуток времени тело приобретает и вдвое большую скорость.

Значить, если тело приходит в точку m из p или из k , то оно обладает в этой точке вдвое большей скоростью, чем в том случае, когда оно приходит туда из g или l . Но так как путь km вдвое больше пути lm , то тело тратит на прохождение того или другого пути одно и то же время.

156. Наконец, Галилей нашель, что маятникъ, время качания котораго вдвое, втрое, вчетверо и т. д. больше, чем время качания другого маятника, должен быть вчетверо, въ девять разъ, вшестнадцать и т. д

Рис. 160

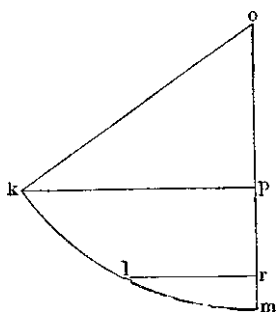
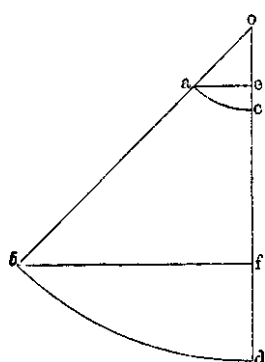
Маятникъ, делающій размахи
различной величины.

Рис. 161

Различные маятники, совер-
шающие одинаковые размахи

раз длиннее, чем этот последний. В этом легко убедиться на опыте. Если один маятник вчетверо длиннее другого, то он делает одно колебание въ то время, как другой делает два.

Если ob (рис. 161) вчетверо длиннее, чем oa , то и дуга bd вчетверо длиннее дуги ac , высота же падения fd вчетверо более, чем ec . Следовательно, падая с высоты fd , тело затрачивает вдвое большее время, чем при падении на величину ec . Приходя в точку d из a или из b , тело обладает, стало быть, вдвое большей скоростью, чем в том случае, когда оно приходит в точку c из e или из a . Но если тело проходит вчетверо больший путь bd со скоростью в два раза большей, то оно затрачивает на это вдвое больший промежуток времени.

157. Галилей нашель, что маятник может служить превосходным измерителем времени, и употреблял его для определения времени при своих опытах над падением тел по наклонной плоскости (§ 150). Галилей предложил присоединить тяжелый маятник к системе колес таким образомъ, чтобы маятник при каждом качании подталкивал один зубец зубчатого колеса; вращение этого колеса и других колесъ, соединенных с нимъ, должно было автоматически показывать число качаний маятника, а стало быть, и время. Такого рода часы были построены в 1649 году его сыномъ, Винченцо Галилеемъ. Конечно, они имели большой неаостатокъ, а именно, по истечении некоторого времени, коида качания маятника становились слишком малыми, часы останавливались.

Ч а с ы

158. Часы были значительно усовершенствованы Христианом Гюйгенсомъ. Улучшение, введенное имъ, заключалось в томъ, что он использовал маятник не как движущую силу, а только как регуляторъ, часовой же механизм у него приводился в движение посредством груза. Прежде чем ближе познакомиться с работами Гюйгенса, бросим взгляд на более ранния попытки разрешить задачу измерения времени.

С развитием общественности измерение времени становится таким же необходимымъ, как и измерения длины и веса, но оно значительно труднее, потому что, в противоположность двум другим родам измерений, оно не может быть производимо с помощью какого-либо материального мерила.

Прежде всего обратили внимание на положение небесных телъ, в частности солнца, с которым так тесно связан ход повседневной жизни. Все цивилизованные народы древности пользовались солнечными часами (§ 41). Халдеи делили день на 12 часовъ. Въ царствование Александра Великого Борозус (жрецъ бога Бела¹), написавший на греческом языке историю и астрономию) ввел это подразделение в Греции. Деление часа на 60 минут и минуты на 60 секунд тоже берет свое начало от халдеевъ.

Другой измеритель времени, изобретение которого также относится к доисторическим временамъ, представляют водяные часы. Они были в употреблении у китайцевъ, индусовъ, халдеев и египтянъ, а Цезарь нашел их также и в Британии. Одною из древнейших форм был воронкообразный сосуд с маленькимъ отверстиемъ, из коготоро медленно вытекала вода. Так как вода при высокомъ уровне вытекает быстрее, чем при низкомъ, то воронкообразной формой сосуда достигалось то, что поверхность воды в начале и в конце истечения опускалась приблизительно равномерно. Иногда на поверхность воды пускали поплавков съ вертикальнымъ, разделенным на части стерженькомъ, деления которого отсчитывались при помощи неподвижного указателя.

Индусы пускали на поверхность воды раковину с маленьким отверстием въ дне. Вода проникала через это отверстие и, когда раковина наполнялась водой, она шла ко дну; это значило, что час кончился.

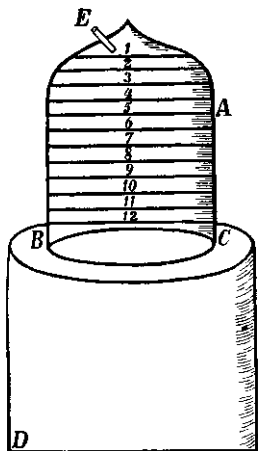
Делла Порта дает описание и изображение (рис. 162) водяных часовъ, состоявших из наполненного водою стеклянного колокола *А В*, помещенного над резервуаром *С D*, также наполненным водою; колокол наливается водою до верху и затем воздух входит сверху через маленькое отверстие *Е*, а вода опускается и поверхность ея каждый час проходит через один из нацарапанных на стекле круговъ.

Иногда вытекающая вода вращала колесо; это колесо, в свою очередь, вращало другое колесо, на оси которого была укреплена стрелка, показывавшая часы. Мысль соединения зубчатых колес для подобной цели принадлежит, может быть, Ктезибию, который жил за 140 лет до Р. Х. в Александрии и был учителем математика

¹Одно из великих ассиро-вавилонских божествъ, аналогичное Ваалу финикиянъ. Упоминается в Библии пророком Исаией, глава 46, ст. 1. *Прим. пер.*

Герона. Часовые промежутки в этих часах отмечались падением камешка в металлическую чашку. В водяных часах, подаренных в IX столетии калифом Гарунъ-Аль-Рашидом Карлу Великому, для той же цели служили медные шары. Рис. 163 изображает водяные часы, бывшие в употреблении еще в XVIII столетии. В резервуар *A* сверху вливается вода, которая вытекает внизу сквозь особое отверстие для ее стока. Вытекшая вода заставляет подниматься плавающий колоколь, так что шнур *ABC* (*C* представляет собою груз) равномерно вращает ось со стрелкою. Чтобы истечение воды происходило постоянно с одной и

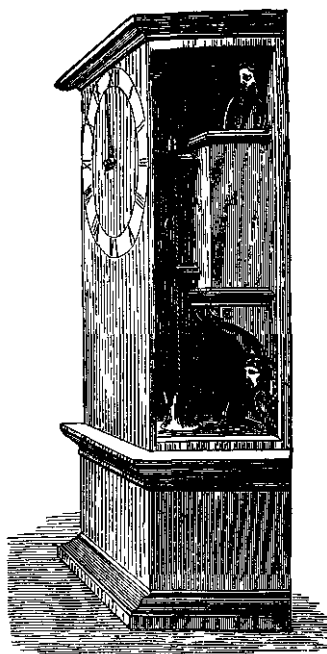
Рис 162



Водяные часы по Делла Порть

тою же скоростью, вода в резервуаре *A* поддерживается на одном и том же уровне; это достигается тем, что вода вливается скорее, чем вытекает, и лишняя вода стекает по трубке, которая на рисунке не видна.

Рис 163



Водяные часы XVIII-го столѣтя.

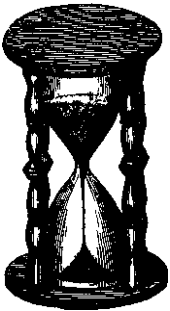
Производство водяных часов процветало в особенности на Востоке, в Китае, где еще и теперь водяные часы можно видеть почти в каждом городе, и у арабов, которые сделали водяные часы совершенно автоматическими, причем эти автоматы показывали не только часы, праздники, положение солнца в зодиаке, но производили также в разные часы различные фокусы. В Европу водяные часы проникали медленно. Еще в XII столетии сакристан монастыря в Клуни должен был наблюдать звезды, чтобы во время будить монахов на молитву. Однако, вь средние века водяные часы проникли уже в большинство крупных городов Италии, Франции и Англии. На площади св. Марка в Венеции в XVI столетии были водяные часы, на которых ежечасно появлялись мавры и три волхва, приветствовавшие Деву Марию и ударявшие в колоколь.

С точки зрения мастерства работы, таким образом, не оставалось желать ничего лучшего, но в самом существенном, в отношении точности определения времени, не было сделано никаких важных успехов.

Вместо воды применяли-иногда (например, Тихо Браге) ртуть или масло. Может быть, несколько позднее появились песочные часы, которые не получили такого большого распространения. Их знали халдеи, а греки пользовались ими для того, чтобы отмерять время для речей. Архимед также дает описание песочных часов.

Два сосуда, имеющих форму груши, соединяются друг с другом узеньким горлышком и содержат более или менее значительное количество песка. После того, как весь песок выплется из верхнего сосуда в нижний, прибор переворачивают, и песок снова в известное время (минуту, час) переходит из одного сосуда в другой. В средние века песочные часы были во

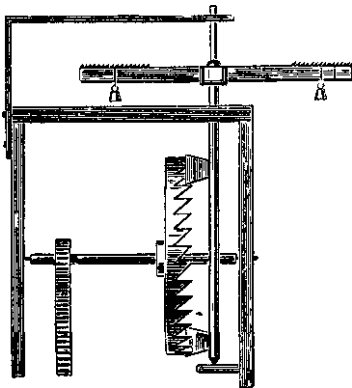
Рис 164 всеобщем употреблении. В Нюрнберге существовал цех часовых дел мастеров, и францы носили песочные часы, прикрепив их к колену. Конечно, эти часы шли не особенно точно, однако, еще в середине XVII столетия на кораблях пользовались песочными часами для измерения времени, а вместе с тем и долготы. Еще и в настоящее время на судах пользуются песочными часами при „лагах”¹⁾.



159. Позднейший тип измерителей времени представляют собою часы с колесами, приводимые в движение грузом. На ось зубчатого колеса наматывается веревка, на которой висит груз. Последний приводит ось во вращение, а зубчатое колесо захватывает свою окружностью за другое, меньшее зубчатое колесо (так называемая „шестерня” или „трибок”), прикрепленное к другой оси. Эта ось вращается, таким образом, быстрее первой, и ее движение передается тем же способом третьей оси, которая в свою очередь вращается быстрее второй и т. д. Последнее колесо вращается, таким образом, гораздо быстрее первого

Песочные часы.

Рис 165 То колесо, которое вращается наиболее быстро, теперь каким-либо образом замедляется и притом так, чтобы ход всего механизма был равномерным. В более древние времена для этого применяли крылатку. Но сопротивление воздуха, производящее в данном случае замедление, изменяется в зависимости от температуры и плотности воздуха. Грязь в местах опоры осей и т. п. причины также играют большую роль, и потому такого рода часы обладали не особенно равномерным ходом. Подобные приспособления находят себе применение еще и теперь, но только там, где не требуется особой точности, например, в му-



аппаратах и т. д.

Описываемый прибор стал действовать лучше, когда крылатку заменили так называемым „билянцем” (рис. 165). Из всей системы зубчатой передачи на ри-

Билянец в часах до изобретения язычковых коробок, в валиках на телеграф- часов с маятником.

сунке изображена только самая верхняя ось, на которой помещается обыкновенная зубчатка и зубчатое колесо, устроенное особым образомъ. Оно приводится в движение системой колесъ, но, цепляясь попеременно за две лопатки, укрепленныя на оси билянца, постоянно задерживается. Когда зубчатое колесо вращается, то один из зубцов толкает верхнюю лопатку назадъ. Это движение, однако, прекратится, как только другой зубец зацепится за нижнюю лопатку и начнет толкать ее впередъ. Затем колесо снова упирается в верхнюю лопатку и задерживается ею и т. д. Такимъ образомъ, при каждом повороте оси в одну и в другую сторону, колесо подвигается вперед на один зубецъ. Чем тяжелее билянцъ, тем больше времени требуется на такое качание. Ход часов регулируется, поэтому, нагрузкой билянца.

Рис. 166



Г югенсѣ.

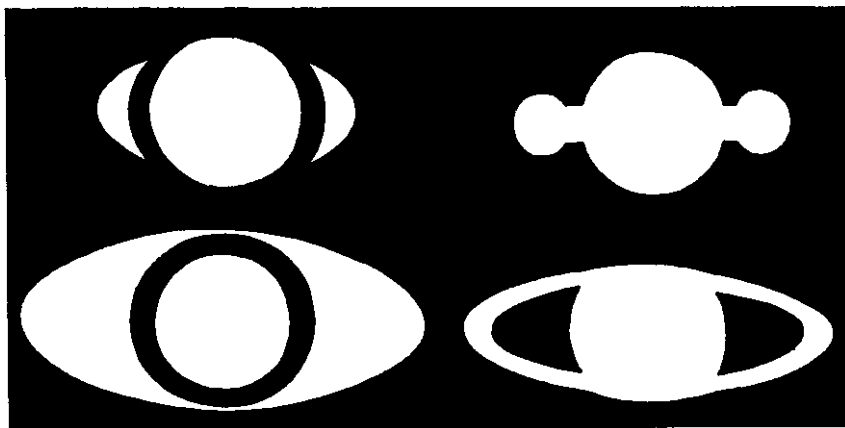
Часы с колесами и грузами проникли в Европу также от магометанъ. Распространение их началось с XI столетия. В 1232 году император Фридрих II получил такие часы в подарок от египетского султана. Кроме времени, они показывали движение солнца, луны, планет и звездъ.

Данте упоминает о таких часах в десятой песне „Рая“, и впоследствии их применяли в качестве башенных часов во многих городах Европы, например, в соборе в Риббе, в Ютландии. Что они шли не слишком верно, можно видеть из того, как регулировались часы в Риббе: биянц их нагружался большим или меньшим количеством кирпичей. У Тихо Браге было четверо таких часов. Одно из колес было в 3 фута диаметром и имело 1200 зубцов. Движение этого колеса было настолько гяжело, что его часто приходилось подгонять молоткомъ.

160. Как видно из всего сказаннаго, уже с древнейших времен люди старались создать верный измеритель времени. И если, несмотря на это, построить удовлетворительный инструмент такого рода не удавалось, то это доказывает, что одной потребности еще недостаточно для того, чтобы породить открытие, пролагающее новый путь в науке. Такого рода открытием мы обязаны скорее потребности нашего духа познавать явления, в данном случае, например, той потребности, которая побудила Галилея изучать движение лампад в Пчзанском соборе. Конечно, Галилей в этом случае не имел в виду создать для человечества измеритель времени, и тем не менее, именно работы Галилея и Гюйгенса привели к этой цели.

161. ХристИан Гюйгенс, родившийся в 1629 г. в Гааге, первоначальное образование, и именно в области математики, получил от своего отца, богатаго и талантливонаго человека, служившаю личным секретарем при принце Оранскомъ. Юный Гюйгенс посвятил себя изучению правоведения, которое и закончил съ успехом уже в возрасте 22 летъ. В том же году он обнародовал превосходную математическую работу, привлекущую всеобщее внимание. Затем Гюйгенс совершил путешествие по Германш и Дании, продолжая свои занятия математикой и

Рис. 167



Первые рисунки Сатурна

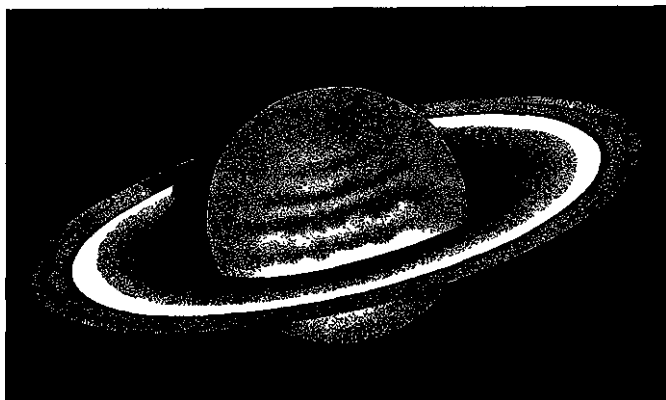
физикой. Одним из важнейших результатов его работы были часы с маятником (§ 162). Его небольшая статья об этом появилась в 1658 году; более же подробное сочинение по теории и применению маятника он издал в 1673 году.

В 1655 году Гюйгенс открылъ, что замечательный видъ, который согласнО предшествующим наблюдениямъ, имел Сатурнъ, обусловлен существованиемъ

кольца, окружающего планету. В том же году Гюйгенс открыл первого из восьми спутников Сатурна.

Конечно, эти открытия стояли в непосредственной связи с теми значительными успехами, которых достиг Гюйгенс в деле улучшения зрительных труб.

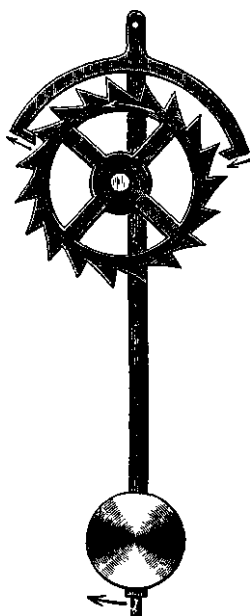
Рис 168



Сатурн и его кольца.

Уже в 1663 году, во время своего пребывания в Лондоне, Гюйгенс был избран в члены Королевского Общества, а когда, в 1665 году Людовик XIV основал Академию Наук в Париже, то наряду с другими выдающимися учеными

Рис. 169 в Париж был приглашен на выгодных условиях и



Маятник с якорем и спусковым колесомъ.

Гюйгенс; предварительно министр Кольбер убедился, что это приглашение будет принято Гюйгенсом, у которого в Париже было уже много добрых друзей. В течение нескольких лет Гюйгенс был одним из наиболее выдающихся членов Академии, которая выпускала важные научные работы. Однако, впоследствии, после отмены Нантского Эдикта, он почувствовал себя в Париже не вполне безопасно и, подобно многим другим, уехал оттуда. С этого времени до самой своей смерти, последовавшей в 1695 году, он жил в Гааге.

Гюйгенс был одним из величайших мыслителей и естествоиспытателей всех времен; ему принадлежат выдающиеся работы не только в тех областях науки, о которых было упомянуто. Впоследствии мы встретимся с ним также в других областях физики и математики, на которые до тех пор не ступала нога исследователя.

162. Гюйгенсовы часы с маятником представляют собою не что иное, как прежние часы с зубчатыми колесами и грузами, в которых биланс заме-

нен маятникомъ. На рис. 169 изображена та форма спускового механизма, к которой Гюйгенс перешел в 1559 году и которая находится во всеобщем употреблении еще до настоящего времени. На рисунке из всей системы колес изображено только то колесо системы зубчатых колесъ, которое движется наиболее быстро; оно непосредственно соединено со спусковым механизмомъ. Направление вращения этого колеса указано белой стрелкой. В моментъ, изображенный на рисунке, колесо удерживается зубцом якоря на левой стороне. Но когда затем маятник качнется влево, зубец якоря отпустит захваченный зубец колеса и колесо повернется далее, но только на ползубца, потому что зубец якоря справа попадет въ промежуток между зубцами колеса и таким образом задержит колесо с этой стороны. Когда после этого маятник снова качнется вправо, то зубец на этой стороне освободится, но зато один из зубцов на левой стороне снова будет задержанъ якоремъ. Таким образомъ, при каждом качании маятника туда и обратно колесо подвигается вперед на один зубецъ.

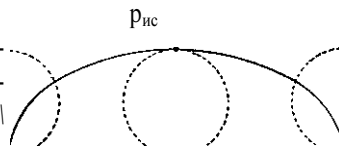
Зубцы якоря, как видно из рисунка, срезаны наискось, так что зубец колеса, который был задержан одним из зубцов якоря и затем снова отпущенъ, должен скользить по косой поверхности якоря. Вследствие этого якорь сообщает маятнику небольшою толчок и этим достигается то, что маятник не может мало по малу остановиться.

Если теперь приделать стрелки, отмечающія число оборотов колесъ, а, следовательно, и число качаний маятника, то получится прибор для измерения времени, ход которого не зависит от загрязнения осей, от величины грузов и т. д., и определяется только длиною маятника. Ход часов регулируется изменением длины маятника (т. е. перемещением линзы).

163. Решение этой важной задачи принесло Гюйгенсу много поздравлений и почетных отличий. Не было недостатка, однако же, и в попытках оспаривать у него эту честь. Итальянцы настаивали на томъ, что приборъ, предложенный Галилеемъ, был часами с маятником (в действительности это было не такъ, см. § 157), а известный химик Бехер утверждалъ, что часы, регулируемые маятникомъ, были и раньше. Гюйгенс даже будто бы видел часы с маятникомъ, принадлежавшие Тихо Браге, у датского посланника в Гааге. Однако, Ремер объяснил это, указав на то, что маятник был приделан к этим часам позже; равным образом и многие другие старые часы были впоследствии переделаны в маятниковые.

164-. Время, необходимое для того, чтобы маятник совершил одно колебание, почти не зависит от величины размаха. Гюйгенс не успокоился до тех поръ, пока не определилъ, по какому пути должно двигаться тело, чтобы время его колебания совершенно не зависело от величины размаха. Оказалось, что таким свойством обладает линия, называемая циклоидой.

Когда колесо катится по плоскости, то каждая точка его обода описывает в пространстве циклоиду (рис. 170). Если обернуть циклоиду вогнутой стороной вверх (рис. 171), то получа-



Циклоида.

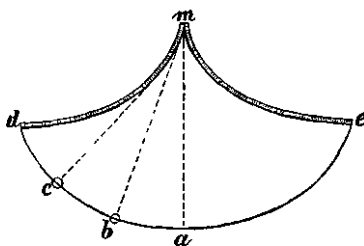
ется так называемая „изохрона," т. е. линия, по которой должна двигаться (колебаться) точка под действием силы тяже-

сти, чтобы время его колебания не зависело от величины размаха. Для того, чтобы придти в точку a , шару нужно будет употребить совершенно одинаковое время, независимо от того, падает ли он из точки b , c или d .

Далее, Гюйгенс нашел, что тело можно заставить колебаться по циклоиде $dcba$, подвесив его на шнурке в точке m , где сходятся два циклоидальных шаблона md и me . Впрочем, практического значения это остроумное открытие не имеет. Обыкновенный маятник, линза которого движется по дуге круга, оказывается более целесообразным, потому что при малых размахах он лишь незначительно отклоняется от циклоиды.

Впоследствии другой математик, по происхождению также голландец, Иванъ Бернулли (род. в 1667 г. в Базеле), нашел, что циклоида есть не только „тау-

Рис. 171



Циклоидальный маятник.

тохрона," т. е. линия равных времен падения, но вместе с тем и „брахистохрона," т. е. линия наименьших времен падения. Для того, чтобы тело под действием тяжести пришло по возможности скоро из b в a , или из c в a , или из d в a , оно должно двигаться по этой линии. На каждом кругом пути, между прочим и на прямолинейномъ, ему понадобится больше времени, чтобы придти из более высокой точки в более низкую.

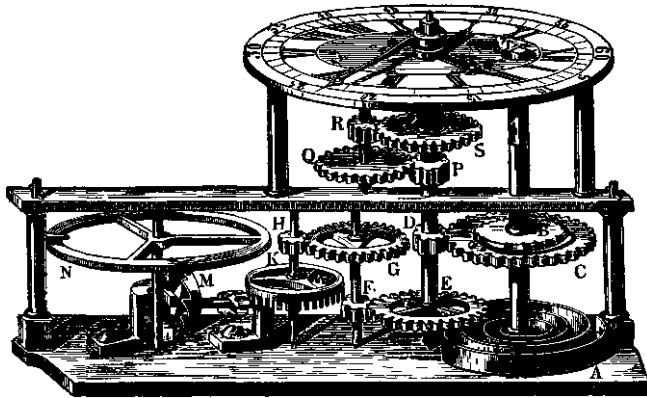
165. Часы с грузом и маятником не могут, конечно, служить в качестве карманных или корабельных часовъ. Еще и раньше груз заменяли согнутою въ спираль пружиной, а вместо крылатки или биянца употребляли другие приемы для замедления движения, например, брали свиную щетину. Некий Петр Геле, уроженец Нюрнберга, около 1510 года пустил в продажу такого рода карманные часы, так называемые нюрнбергския яйца. Однако, удовлетворительными измерителями времени карманные часы сделались лишь с тех поръ, как их снабдили приспособлениемъ, соответствующим маятнику, так называемым балансиромъ. Он был изобретенъ, без сомнения, лишь около 1658 года англичанином Робертом Гукомъ. Гукъ, однако, ничего не опубликовал об этомъ, и в 1675 году Гюйгенс писал о балансире, как о своем собственном изобретении. Но когда Гук заявил о своем первенстве, Гюйгенс с готовностью признал его.

Балансир представляет собою маленькое маховое колесо N (рис. 172), ось которого снабжена двумя лопатками, поочередно цепляющимися за зубцы спускового колеса. Спиральная пружина прикрепляется одним концом к оси балансира, другим — к стойке, соединенной с доскою часовъ. Когда балансир вращениемъ выводится из положения равновесия, то под действием упругости пружины онъ начинает колебаться подобно тому, как колеблется маятник под действием силы тяжести. То обстоятельство, что прикрепленные к его оси лопатки захватывают зубцы спускового колеса, с одной стороны постоянно прерывает движение этого колеса, а с другой стороны поддерживает движение балансира, благодаря темъ толчкамъ, которые он получает от спускового колеса. Из рисунка легко уяснить

себе, каким образом вращение оси, приводимой в движение пружиной *A*, передается спусковому колесу, а также осям стрелокъ.

166. Роберт Гук родился в 1635 году на острове Вайте. Он был слабого телосложения. Несмотря на то, что "воспитание его шло довольно неправильно, колеблясь между обучением ремеслам и наукамъ, он сделался ученымъ. Он сталъ экспериментаторомъ, а затем и секретарем Royal Society (Королевского Общества). После того, как он изобрел карманные часы (с балансиромъ), Роберт Бойль предложил ему выгодныя условия эксплуатации этого изобретения; однако, Гук со

Рис. 172



Часы с балансиром *N*, приводимым в движение заведенной пружиной *A*.

своейственной ему раздражительностью отверг его предложения и изъ-за этого не получил никаких выгод от своего изобретения; да и самая честь этого открытия осталась за ним лишь, благодаря благородству Гюйгенса. Гук произвел важныя работы в различных областях физики и построил много научных измерительных инструментовъ. Однако, он не дал крупных открытій, потому что его ученая деятельность затрагивала слишком много различных вопросовъ. Повидимому, он вел довольно уединенную и печальную жизнь, и даже в старости часто лишь под утро ложился одетым в постель, проработав всю ночь напролетъ. — Известен его ожесточенный спор с Ньютономъ, которого он обвинял в томъ, что ТОГЪ, будто бы, заимствовал у него теорию тяготения, не приводя, однако, въ подтверждение этого никаких доказательствъ. Впрочемъ, Гук действительно высказывал мысль, что небесныя тела притягивают друг друга с силой, зависящей от разстоянія, коиорая и обусловливает их пути; поэтому его по справедливости можно назвать предшественником Ньютона¹⁾. Он умер в 1703 году.

Другия криволинейныя движения

167. Чтобы составить себе представление о томъ, насколько Ирудно было освободиться от аристотелевых идей, стоит только обратить внимание на то, какъ сильно был связан ими Фрэнсис Бэконъ, современник Галилея, хотя онъ старался отделаться от них более, чем кто-либо другой.

¹⁾ Сравни примечаше к § 295.

Фрэнсис Бэконь, сын Николая Бэкона, хранителя Большой государственной печати Англии, родился в 1561 г. в Лондоне. Он избрал себе юридическую карьеру. Несмотря, однако, на протекцию графа Эссекса, ему не удалось получить выгодного места на государственной службе. В процессе против графа Эссекса, завершившемся его казнью, Бэкон сыграл далеко не достойную роль, а благодаря сочинению, которое он написал, по поручению королевы Елизаветы, в оправдание казни графа Эссекса, он стал крайне непопулярным. Лишь в правление Якова VI ему удалось достигнуть своей давнишней цели — высокой государственной должности. После того, как он в течение года исполнял должность хранителя Большой государственной печати, ему была поручена должность лорда-канцлера Англии. Кроме того, он получил титул барона Веруламского и виконта Сэнт-Олбэнского. Но едва успев достигнуть такой высоты, Бэконь, за взяточничество при исполнении своих обязанностей, был лишен титулов и должностей и приговорен к штрафу в 40000 фунтов стерлингов и к пожизненному тюремному заключению. Король, впрочем, отменил тюремное заключение и назначил ему ежегодное содержание в 1800 фунтов. Бэкон не долго пережил свое унижение. Он умер в 1626 году.

В 1620 году, за год до своего падения Бэкон выпустил в свет книгу, посвященную главным образом вопросу о том, как следует двигать вперед науку. В этой книге он выступает столь решительным противником аристотелевской натурфилософии, что многие, в особенности англичане, смотрят на него, как на реформатора в области научного исследования. Импонируя своим высоким положением в государстве, он мог веско заявлять, что „упадок наук произошел от пустых мудрствований," и что следует возвратиться к исследованию природы посредством опыта (эмпирии). „Все источники эмпирии изливаются в океан философии." Из нея вытекает познание действительных причин. Допущение конечных причин, как объяснения физических явлений, следует отвергнуть. Бэкон с таким ожесточением выступил против всяких умозрений, что даже математика имела в его глазах лишь подчиненное значение.

Такого рода речи были тогда в высшей степени своевременны и, конечно, не пропали напрасно, тем более, что исходили от такого высокого лица. Разумеется, лучше было бы вместо того, чтобы говорить, больше работать в этом направлении, подобно Галилею, который поступал так гораздо раньше, чем появилась книга Бэкона. Но как исполнял свои советы сам Бэконь? Например, он задается вопросом, какие тела двигаются вследствие тяжести и какие вследствие легкости, каковы пределы легкости и принадлежит ли воздух к тяжелым или легким телам. Он различает 19 различных родов движения. Один из этих родов есть „движение вследствие боязни движения." И в то же время он борется против конечных причин!

168. Совсем иного рода победа была одержана наукой тогда, когда Галилей формулировал закон инерции и высказал утверждение, что при одновременном действии сил каждая из них производит то же действие, какое она произвела бы, еслибы действовала одна. С помощью этой одной истины можно объяснить все явления движения и, как мы уже видели, Галилей и выяснил с ее помощью свободное падение, движение по наклонной плоскости и дви-

жение маятника. Далее, он выяснил движение брошенных тел, относительно которого до него господствовали своеобразные представления.

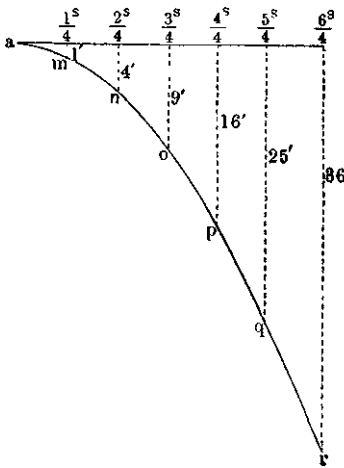
По Аристотелю движение тела, брошенного по горизонтальному направлению, составляется из трех: движения по горизонтальной прямой линии (насильственное движение), по дуге круга, а именно по четверти окружности (смешанное движение) и по вертикальной прямой линии (естественное движение). В одном сочинении, относящемся к 1561 году, эта теория была изменена в том смысле, что путь брошенного тела складывается только из двух прямых линий. Первую из них тело пролетает насильно и, когда вся сообщенная ему сила расходуется, оно падает вниз по естественному пути.

Выдающийся итальянский математик Тарталья в сочинении, изданном в 1537 году, указал на то, что каждая часть пути брошенного тела должна быть искривленной. Однако, точного определения пути брошенного тела он не мог дать.

169. Галилеево объяснение движения брошенного тела мы рассмотрим на нескольких примерах.

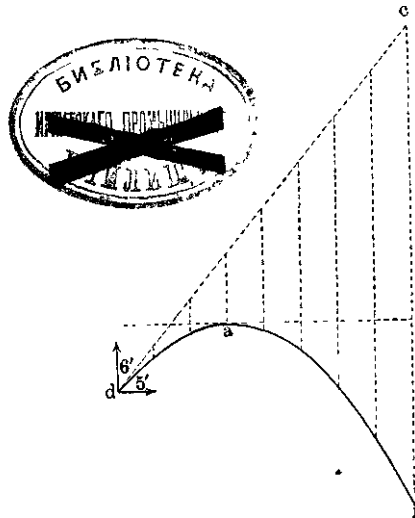
Допустим сначала, что тело брошено по горизонтальному направлению $a b$ (рис. 173). Оно будет двигаться по этому направлению с неизменной скоростью,

Рис. 173



Движение горизонтально брошенного тела.

Рис. 174



Движение брошенного тела.

проходя, например, 5 футов в каждую четверть секунды. Если, с другой стороны, вычислить (ср. § 149) пути, проходимые телом при падении за $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ и т. д. секунды, то окажется, что тело падает вниз в

V_4	V_4	$\frac{3}{4}$	V_4	V_4	V_4	Секунды
на 1	4	9	16	25	36	футовъ.

Тело, брошенное из точки a по горизонтальному направлению, в том случае, еслибы на него не действовала сила тяжести, передвинулось бы в $\frac{6}{4}$ секунды при равномерной скорости из точки a в точку b . Но вследствие действия силы тяжести оно в то же время падает, как указано выше. Поэтому спустя $\frac{1}{4}$

секунды тело приходит в точку m , спустя $\frac{2}{4}$ секунды в точку n и т. д. Путь $amnorqr$, который оно описываетъ, представляет собою так называемую параболу — кривую линию, которая была известна математикамъ, жившим еще въ IV столетии до Р. Х.

170. И в том случае, когда тело брошено по какому-либо другому направлению, оно описывает параболу. Пусть оно будет брошено из точки d (рис. 174) по такому направлению, что в каждую четверть секунды оно проходит 5 футовъ в горизонтальном направлении и 6 футов в вертикальномъ. Движение тела в горизонтальном направлении от действия силы тяжести не изменится, между тем какъ высота тела в каждый момент будет зависеть также и от действия этой силы. Высоты, которых тело достигло бы благодаря своей начальной скорости спустя 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$ А. $\frac{5}{4}$, $\frac{6}{4}$, $\frac{7}{4}$, $\frac{8}{4}$ секунды, равны

0, 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48 футомъ.

Но в те же промежутки времени тело вследствие тяжести падает вниз на

0, 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 фута.

Поэтому высота над точкой d , которой оно в действительности достигаетъ, будет соответственно

0, 5, 8, 9, 8, 5, 0, —7, —16 футовъ,

следовательно, тело будет ниже точки a (которая помещается на 9 футов над d) на

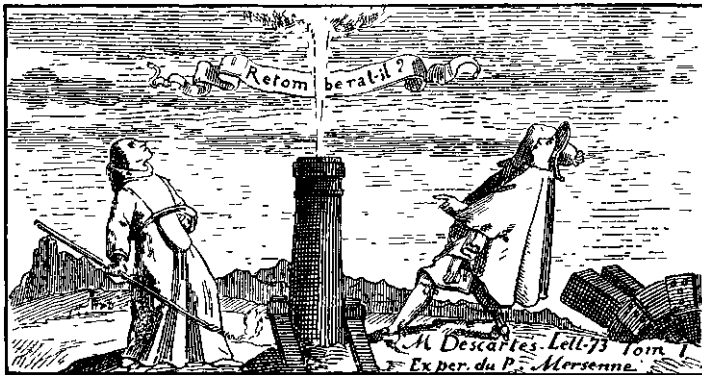
9, 4, 1, 0, 1, 4, 9, 16, 25 футовъ.

Получаются, следовательно, такая же самая понижения, как и при горизонтальном бросании из точки a , в которой тело (по истечении $\frac{3}{4}$ секунды) занимает наивысшее свое положение. Согласно с этими прочисленными величинами вычерчена кривая рис. 174, где d есть начальное положение, а dc путь, который был бы пройденъ телом в $\frac{8}{4}$ или в 2 секунды при отсутствии силы тяжести. Из точекъ, в которых тело находилось бы спустя $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ и т. д. секунды, проведены вертикальныя линии и на них нанесены соответственныя величины падения, таким образом получился путь dar , который представляет собою параболу. Однако, вследствие сопротивления воздуха в действительности этот путь несколько уклоняется от параболы.

171. Не лишено интереса сравнение с этими объяснениями Галилея техъ теорий движения, которыя еще позднее были предложены Декартом (Картезиемъ). Однако это сравнение дает мало поучительнаго. Декарт родился въ 1596 г. в Лагэ (La Haye) въ Турени, а умер в 1650 году в Стокгольме. Воспитание он получил в иезуитской школе в Лафлеше (La Fleche), в молодости был военным и принимал участие во многих походахъ, затем объездил разныя страны, долгое время жил в Голландии (§ 106) и в конце концовъ, по приглашению шведской королевы Христины, приехал в Стокгольмъ. — Декарт был необыкновенно даровитый человекъ. В особенности он прославился своей философией. Но за ним числятся также крупныя заслуги и в области математики (аналитическая геометрия). В области физики он дал объяснение лишь некоторым отдельным явлениям (например, радуге), допуская математическую обработку. В противоположность Галилею, Декарт считал умозрение (спекулятивный метод исследования) лучшим средством изучения природы. Он начинает с того, что сомневается во всемъ. Отсюда он приходит к убеждению в несомненности своего собственного существования, из чего выводит несомненность существования

Бога, изъ учения о Боге он выводит свойства пространства и вещества и на основании этих свойств создает учение о движении и ударе. Законы движения, к которым он пришел таким путем, представляют собою странное сплетение идей и трудно даже понять, как такой талантливый математикъ, как Декартъ, могъ удовлетвориться ими. Сам он говорить, однако, что он так глубоко убежденъ в правильности своих законов движения, что в случае, еслибы они не подтвердились на опыте, он всетаки больше поверил бы своему разуму, чемъ чувствамъ. И что, может быть, еще более замечательно, это то, что один ученый за другим склонялись перед его учением о движении и перед „картезианскими вихрями," по которым будто бы двигается э ирь, увлекая за собою планеты и солнце. В сочинениях Декарта попадаются изображения вроде рис. 175. Его товарищ по иезуитской школе Мерсенн и артиллерист Пти несколько раз стреляли изъ

Рис. 175



Один из вопросов Декарта.

пушек по вертикальному направлению, но обратного падения ядра не наблюдали. Этим и объясняется надпись на рисунке: *Retombera-t-il* (упадет ли оно обратно)? Понятно, что дуло пушки было направлено не вполне точно по отвесу, чего можно достигнуть лишь с большим трудомъ.

Как далек был Декарт от того, чтобы по достоинству оценить творения Галилея, видно из его письма к Мерсенну, где он говоритъ: „Что касается Галилея, то скажу Вамъ, что я его никогда не видел и не вел с нимъ никакой переписки; поэтому я ничего не мог у него заимствовать; и в его книгахъ я не вижу ничего такого, чему бы могъ позавидовать или признать за свое."

К числу многих, считавших Декарта непогрешимымъ, принадлежал голландец ванъ-Шутенъ, учитель Гюйгенса и друг его отца. Когда Гюйгенсъ выступил со своим учением об ударе, это сильно огорчило учителя, который, желая ученику добра, очень противился этому выступлению.

172. Одним изъ главных предшественников Галилея, который не признавал авторитета Аристотеля безусловнымъ, был Бенедетти (род. в 1530 г. въ Венеции, ум. в 1590 г. в Турине). В механике, изданной в 1585 г., онъ даетъ объяснение центробежной силы, которая действует на тело, движущееся по кругу. Естественно, говорит онъ, чтобы тело двигалось по прямой линии. Поэтому, если оно

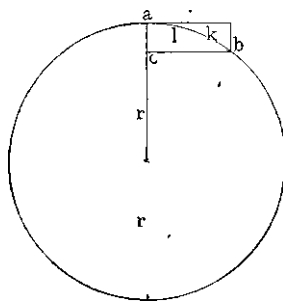
не привязано, ТО оно удаляется по прямой линии (касательной), подобно грязи, отскакивающей от колес быстро движущагося экипажа. Это стремление тела удаляться от центра является причиной того, что называют центробежной силой.

Это соображение стало достаточным для объяснения центробежной силы после того, как Галилей формулировал закон инерции. Если тело принуждается к движению по кругу темъ, что оно привязано на веревке, ТО веревка должна с известною силою тянуть тело. С такою же силою тело тянет веревку.

Гюйгенс первый произвел верное вычисление центробежной силы. По-видимому, его внимание было привлечено к этому вопросу изучением маятника, именно, конического маятника (центробежнаго). Так называется маятникъ, который качается не в одной и той же плоскости взад и впередъ, а описывает поверхность конуса. Если шарик маятника, подвешенный на нитке, вывести из положения равновесия в какую-либо сторону и затем сообщить ему скорость в другом направлении, ТО шарик станет описывать более или менее растянутый эллиптический путь, а если направление и величина скорости размерены соответствующим образомъ, он будет двигаться по кругу¹⁾. Гюйгенс впервые опубликовал свое вычисление центробежной силы в книге о часахъ, изданной в 1673 году. Впоследствии он написал по этому вопросу более подробное сочинение. Чтобы читатель мог понять вычисление, произведенное Гюйгенсомъ, и быть в состоянии производить подобныя же вычисления, сами по себе представляющія большой интерес и находящія МНОГО практических применений, в последующих двух параграфах нам придется пользоваться некоторыми математическими теоремами.

173. Пусть тело находится в точке *a* (рис. 1-76) и обладает такою скоростью, что в единицу времени может пройти путь $\frac{1}{\sqrt{g}}$. Однако, тело не может удалиться

Рис. 176 от круга, потому что оно соединено с его центром при



Объяснение центробежной силы.

помощи веревки или чего-либо подобного. Вережка все время должна тянуть по направлению к центру (центробежная сила). Эта тяга имеет как раз такую же величину, как и та тяга, которую тело производит по направлению вовне вследствие центробежной силы; совершенно ТО же мы имеем в случае тела, подвешеннаго на веревке: веревка тянет вверх с такою же силой, с какою тело тянет внизъ.

Еслибы тело могло двигаться, подчиняясь закону инерции, ТО в единицу времени оно прошло бы отрезок прямой $\frac{1}{\sqrt{g}}$. Но если оно удерживается на круговомъ пути и по прошествии единицы времени приходит въ точку *b*, ТО, кроме движения по инерции $\frac{1}{\sqrt{g}}$, оно должно совершить движение *ac*. Это последнее движение вызывается равномерно действующей тягой веревки и определяется величиною центробежной силы $\frac{1}{\sqrt{g}}$.

Подобно тому, как сила тяжести, сообщаящая телу в течение секунды скорость g , заставляет тело в ТО же время пройти путь $\frac{1}{\sqrt{g}}$ (§ 149), так точно и

¹⁾ Конические маятники применяются въ таких механизмахъ, где движение должно быть равномернымъ, а не совершаться скачками, как движение секундной стрелки часовъ.

центростремительная сила / в секунду заставит тело совершить путь $Y_2/$. Следовательно, линия ac равна $Y_2/$.

Как известно из геометрии, квадрат, построенный на $a b$, равен прямоугольнику со сторонами ac и $2r$. Но так как мы должны рассматривать движение в бесконечно-малый промежуток времени, то lk и ac будут равны между собою. Поэтому

Но

$$v^2 = ac \cdot 2r.$$

следовательно,
откуда

$$v^2 = \frac{1}{2} f \cdot 2r = f \cdot r,$$

$$f = \frac{v^2}{r}.$$

Как видно из этой формулы, центростремительная, а, значить, и центробежная сила тем больше, чем больше скорость. Если скорость будет в 2, 3, 4 раза больше, то центробежная сила увеличится в 4, 9, 16 раз, т. е. центробежная сила растет пропорционально квадрату скорости. Далее, центробежная сила тем больше, чем меньше радиус кривизны, потому что последний стоит в знаменателе формулы. При заданной скорости центробежная сила будет, стало быть, тем больше, чем быстрее меняется направление движения.

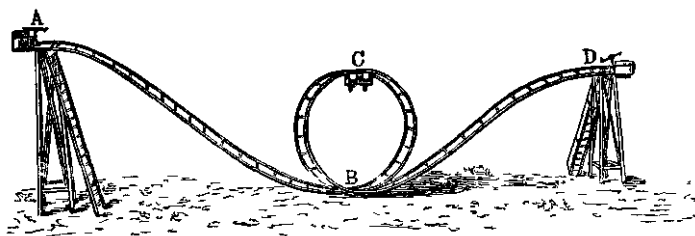
Пример 1. Экипаж движется со скоростью 2 м в секунду по дороге, представляющей собою дугу радиусом в 6 м. Центробежная сила равна, следова-

тельно, $\frac{2^2}{6} = 0.66$ м. Так как сила тяжести равняется g или 9.8 м, то центро-

бежная сила приблизительно равна $1/15$ силы тяжести. Лицо, сидящее в экипаже, прижимается, следовательно, к внешней стенке экипажа с силой равной одной пятнадцатой части своего веса.

Пример 2. Шар весом в 0.25 кг катится по горизонтальному жолобу со скоростью 0.3 м в секунду. Радиус кривизны жолоба равен 15 см. Какое давление производит шар на боковую поверхность жолоба?

Рис. 177



Движение вагонетки по центробежной дороге.

Пример 3. Вагонетка скатывается по наклонным рельсам и затем описывает круговую петлю (рис. 177). При достаточной скорости вагонетка не упа-

дет с рельсов. Если диаметр кругового пути равен 6 м, то какова должна быть наименьшая начальная высота вагонетки над высшей точкой петли, чтобы центробежная сила по меньшей мере равнялась силе тяжести (трение и сопротивление воздуха не принимаются в расчет)?

174. Если движение все время происходит по круговому пути, то формулу можно привести к несколько более удобному виду. Назовем время, необходимое телу для совершения одного оборота (время обращения), через T ; за это время тело, при скорости v , проходит путь $2\pi r$. Но этот же путь, равный окружности круга, может быть выражен формулой $2\pi r$. Итак,

$$T = 2\pi r / v$$

следовательно,

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r}{v^2}$$

$$T^2$$

А так как

$$v^2 = \omega^2 r$$

то

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{\omega^2}$$

или

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Из этой формулы видно, что центробежная сила обратно пропорциональна квадрату времени обращения, что равнозначно прежней теореме о центробежной силе и скорости. Далее, из формулы видно, что центробежная сила тем больше, чем больше радиус кривизны. На первый взгляд кажется, что это противоречит прежним законам; но на самом деле этого противоречия нет. Пусть, например, на рычаге карусели тело a находится на расстоянии в 5 раз большем от центра, чем другое тело b . Тогда, согласно последней формуле, центробежная сила a получается в 5 раз больше центробежной силы тела b . Если же мы захотим применить первую формулу, то не следует забывать, что скорость a в 5 раз больше скорости b . По этой причине центробежная сила a должна бы быть в 25 раз больше, чем центробежная сила b . Но вследствие большого радиуса кривизны она должна быть в 5 раз меньше, чем та,

25

которая действует на b ; — равно 5.

о

Пример 1. Тело движется по кругу диаметром в 30 см и делает 60 оборотов в секунду. Во сколько раз центробежная сила больше силы тяжести?

Пример 2. Шары регулятора паровой машины делают 90 оборотов в минуту и удалены от оси на 10 см. Каково отношение между центробежной силой и силой тяжести?

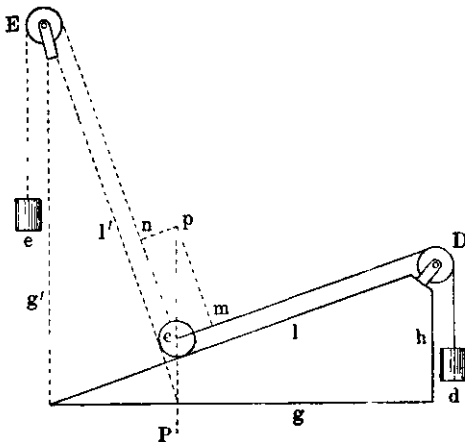
Пример 3. Какая доля силы тяжести уничтожается на земном экваторе центробежной силой, происходящей от вращения земли (диаметр экватора равен 1719 миль)?

Параллелограммъ силъ

175. Стевин нашел (§ 136), что шар c на наклонной плоскости $/$ (рис. 178) удерживается в равновесии грузом d , величина которого относится к весу c , какъ высота h наклонной плоскости к ея длине l . Это послужило Стевину исходной точкой для следующихъ выводовъ.

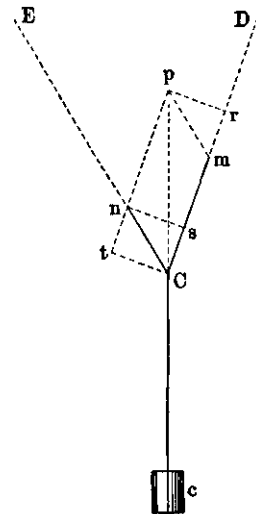
Не произойдетъ никакого нарушения равновесия, если убрать наклонную плоскость и привязать к шару c веревку, перекинутую через блок E и натянутую грузом e ; при этомъ направление веревки должно быть перпендикулярно к наклонной плоскости, а груз своимъ натяжениемъ долженъ какъ разъ заменить действие опоры $/$.

Рис. 178



Переходъ отъ наклонной плоскости къ параллелограмму силъ.

Рис. 179



Натяженіе двухъ веревокъ грузомъ.

Можно представить себе теперь, что слева от c расположена вторая наклонная плоскость l' , высота которой g' равна основанию, а основание равно высоте первой наклонной плоскости. На этой наклонной плоскости груз e будет в равновесии с c , если e относится к c , какъ g' к l' . Теперь можно представить себе, что и вторая наклонная плоскость заменена веревкой cDd с соответствующимъ грузом d . В такомъ случае груз c будет висеть на двухъ веревках cD и cE , натянутыхъ грузами d и e , которые такъ относятся к c , какъ h и g относятся к l . Если теперь провести через c вертикальную линию cP и придать ей длину, изображающую графически величину груза c , а затемъ продолжить эту линию на такое же расстояние вверхъ, то отрезки cm и cn должны будутъ соответствовать величине грузовъ d и e . Въ самомъ деле, стороны маленького треугольника cmr относятся между собою такъ же, какъ стороны треугольника, образованного длиной, высотой и основанием наклонной плоскости (l, h, g). Последняя же относятся между собою, какъ грузы d, c и e . Такимъ образомъ, сила cP можетъ быть в равновесии с двумя другими cm и cn , представляющими собою стороны прямоугольника, в которомъ продолжение первой силы является диагональю. Далее, Стевинъ показалъ, какъ подобнымъ же образомъ

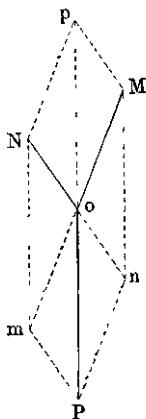
можно определить натяжение двух веревок, привязанных к грузу, в том случае, если они не образуют между собою прямого угла. Если груз c (рис. 179) висит на веревках DC и EC , то вертикальную линию Cc можно продолжить вверх и считать, что длина Cp выражает вес c . Если теперь из p проведем линию pm параллельно CE и линию pn параллельно CD , то Cm будет представлять собою величину натяжения веревки CD , а Cn натяжение по CE .

Стевин не дает ясного доказательства правильности этого положения. Доказать его можно следующим образом. Проведем три линии Ct , ns и rg перпендикулярно к Cm . По предыдущей теореме, Cp может быть заменена через Ct и Cr . Но последняя равна Cm или ms или Cs . Теперь мы имеем три силы Ct , Cm и Cs . Из них первая и третья могут быть заменены через Cn , следовательно, Cp может быть заменена через Cm и Cn .

Итак, Стевин нашел, что силы, действующие на три веревки, связанные в одной точке, находятся между собою в равновесии, если линии, отложенные по направлению веревок и выражающие относительные величины сил, имеют такие длины, что диагональ параллелограмма, построенного на двух из этих линий, имеет ту же величину, как и третья линия, но противоположное направление.

Если, например, диагональ op (рис. 180) параллелограмма со сторонами om и on равна по величине, но противоположна по направлению op , то om и on находятся в равновесии с op . Так как равновесие существует между всеми тремя линиями, то мы с таким же правом можем сказать, что om и op находятся в равновесии с on . Отсюда следует, что on , диагональ параллелограмма

Рис. 180



$MoPn$, равна по величине и противоположна по направлению on . Точно также диагональ om параллелограмма $NoPm$ равна по величине и противоположна по направлению om .

176. Совсем иным путем (исходя из закона инерции) Галилей открыл положение, которое можно было бы назвать параллелограммом движений. Если тело под действием одной силы должно перейти из o в M , а под действием другой в тот же самый промежуток времени из o в N , то под одновременным действием обеих сил оно передвинется по диагонали параллелограмма из o в p .

Так как, далее, Галилей нашел, что сила может быть измерена той скоростью, которую она сообщает телу в единицу времени (§§ 149, 150), то из теоремы о параллелограмме движений он мог бы вывести следующее заключение. Если движение, которое могли бы произвести две силы, действуя одновременно, равно и противоположно движению, вызываемому некоторой третьей силой, то движение, производимое всеми тремя силами вместе, равно нулю, т. е. такие три силы находятся в равновесии.

В такой общей форме теорема, однако, не была высказана ни Стевином, ни Галилеем; несомненно, впрочем, что вопрос был выяснен ими в деталях. Лишь Ньютон выразил теорему в той форме, в какой мы только что привели ее. Теперь эту теорему обыкновенно называют параллелограммом сил.

Параллелограмм сил применяется тогда, когда требуется найти „равнодействующую силу" двух сил, приложенных в одной и той же точке. Когда две силы даны по величине и направлению, то равнодействующая сила, или „резльтирующая," представляется диагональю параллелограмма сил, потому что эта диагональ равна по величине и противоположна по направлению той силе, которая находилась бы в равновесии с двумя данными.

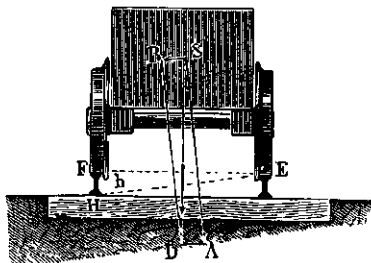
Можно „сложить" и больше, чем две силы, складывая сначала две из них, затем полученную равнодействующую с третьей силой и т. д.

Соответственным образом можно данную силу и разложить на „слагающия" или „составляющия". Действительно, если начертить две другие силы так, чтобы данная сила была диагональю параллелограмма, а две новые образовали собою его стороны, то эти две силы будут в состоянии произвести то же действие, что и первая.

С помощью теоремы о параллелограмме сил можно легко определить общее действие тяжести и центробежной силы.

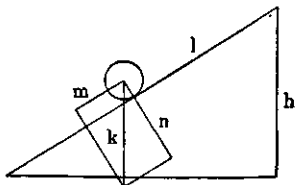
Пример 1. Железнодорожный поезд идет со скоростью 20 м по закруглению радиусом в 300 м. Какую долю силы тяжести составляет центробежная сила? В таких местах внутренний рельс кладут несколько ниже внешнего (рис. 181), так что равнодействующая SD силы тяжести SA и центробежной силы SB направляется приблизительно перпендикулярно к пути.

Рис. 181



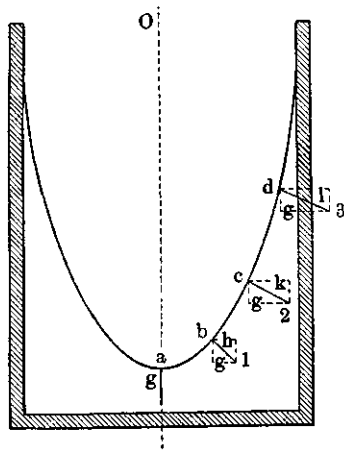
Железнодорожный путь на закруглениях.

Рис. 183



Разложение силы на двѣ составляющих.

Рис. 182



Поверхность жидкости подѣйствиемъ центробѣжной силы.

Пример 2. Цирковая лошадь бежит по кругу в 20 м диаметром со скоростью 20 км в часъ. Каков должен быть наклон дороги и как велик кажущийся вес бегущей лошади, если действительный ея вес равен 420 кг?

Пример 3. Впоследствии мы увидимъ, что поверхность жидкости устанавли-

вается всегда перпендикулярно к направлению силы, действующей в каждой точке ее поверхности. Если вращать жидкость вокруг вертикальной оси (мешая ее в чашке, вращая на центробежной машине и т. п.), то ее поверхность принимает форму, изображенную на рис. 182. В точках a , b , c и d сила тяжести везде одна и та же, центробежная же сила соответственно будет равна 0, 1, 2, 3. Силы, действующие в различных точках, суть g , h , k и l , и поверхность в точках a , b , c и d перпендикулярна к нимъ. Чем больше скорость вращения, темъ более действующия силы направляются наружу и тем круче подымается поверхность. Параболическое углубление становится больше. При достаточно большой скорости показывается дно сосуда, а поверхность жидкости становится почти вертикальной (цилиндрической).

Пример 4. Условие равновесия на наклонной плоскости можно теперь вывести иным способомъ, чем прежде. Вес тела k (рис. 183), направленный вертикально внизъ, разлагается на две слагающия n и m , из которых первая дает давление на наклонную плоскость, а вторая силу, с которой тело действует в направлении наклонной плоскости. Очевидно, последняя относится к весу k такъ, какъ h относится к l (ср. § 136).

У д а р ь

177. Галилей и его ученик Торричелли замечаютъ, что сила удара бесконечно велика в сравнении с силой давления. Удар и давление несравнимы между собою.

Во всяком случае, примеры, подобные нижеследующимъ, повидимому, подтверждают этот взглядъ. Сильный удар по открытой двери не так легко может ее захлопнуть, какъ слабое давление. Стаканъ, могущий выдержать на себе давление веса человека, разбивается от быстрого удара по нему ключемъ.

Однако, утверждение Галилея неверно. Правильнее будет сказать, что ударъ есть очень сильное давление, продолжающеесяч очень недолго.

И Декарт также былъ не вполне правъ, утверждая, что малое тело при ударе о большее, находящееся в покое, отскакивает назад с прежней скоростью, а ббльшее тело остается в покое.

Немецъ, по имени Маркус Марци, писавпий о движении несколько позже Галилея,— его книга появилась в 1639 году в Праге—, дает различныя указания касательно удара, более правильныя, чем большинство появлявшихся раньше объяснений по этому предмету. Напримеръ, он совершенно правильно замечаетъ, что упругий шар при ударе о другой шар равной массы, находящийся в покое, передает ему свою скорость, а сам останавливается. Впрочемъ, в отношении ясности и точности разсуждений его далеко нельзя сравнивать с Галилеемъ.

178. Прежде думали, что первый толчок к изследованию вопроса об ударе тел был дан английским Королевским Обществом (Royal Society), которое в 1668 году объявило премию за решение этой задачи. Решение было дано тремя выдающимися учеными, Джоном Валлисомъ, Христофором Реном и Гюйгенсомъ. Но у Гюйгенса решение этой задачи было готово еще в 1656 году, и он медлил его опубликовать лишь потому, что ванъ-Шутен опасался, как бы

он не скомпрометтировал себя перед Декартом (§ 171). Когда Гюйгенс в 1663 году встретился в Лондоне с Реномъ, занятым опытами над ударом тель, он при помощи своих формуль, которыя всегда помнилъ, мог в каждомъ отдельномъ случае предсказать результатъ. Валлис (1616—1703), профессоръ Оксфордскаго Университета, был выдающимся математиком и оставил несколько различныхъ работъ, имеющихъ важное значение еще и теперь. Рен (1632 — 1722) был профессором сначала в Лондоне, затем в Оксфорде, но прославился, главнымъ образомъ, как архитекторъ. За пятидесятилетие с 1668 по 1718 год онъ построил более 60 церквей и другихъ общественныхъ зданій, между прочимъ, величественную церковь св. Павла в Лондоне.

Эти три ответа на задачу были замечательны темъ, что взаимно дополняли друг друга.

Именно, Валлис рассматривал удар двухъ такихъ тель, которыя после удара не отделяются друг от друга. Это имеет место в случае тел неупругихъ, каковы свинецъ, глина и т. п. Такие тела сохраняют изменение формы, испытанное ими при ударе, и в них не заметно никакого стремления принять снова прежнюю форму.

Валлис указал на то, что количество движения, т. е. произведение массы и скорости, до и после удара имеет одну и ту же величину. Если, напримеръ, шар в 10 кг, движущийся со скоростью 5 м, настигает шар в 5 кг, движущийся со скоростью 2 м, так что сумма количествъ движения есть $50 - 10 = 40$, то оба-шара вместе (15 кг) начинают двигаться со скоростью 4 м, потому что $15 \times 4 = 40$. Если тела движутся в противоположныхъ направленияхъ, то, естественно, количество движения после удара равно разности количествъ движения до удара.

Примеръ. Если сталкиваются два равных неупругихъ шара, движущихся съ равными скоростями на встречу друг другу, то оба приходят в состояние покоя.

179. Рен и Гюйгенсъ, наоборотъ, исследовали случай упругихъ тель, у которыхъ изменение формы, вызванное ударомъ, проходить, так что тела принимаютъ первоначальную форму. Как Рень, так и Гюйгенс предполагают при этомъ, что за теми давлениями, которыя тела производят друг на друга в короткий промежуток времени между первымъ соприкосновением и наибольшимъ сближением ихъ центровъ тяжести, следуют совершенно соответствующия давления, возникающия в последующий промежуток времени, когда тела друг от друга удаляются; другими словами, то изменение скорости, которое тела испытывают во время сдавливания, возмещается в тот промежуток времени, когда они вновь расширяются до первоначальнаго объема.

Рену принадлежит заслуга подтвержденія этого предположенія на опытахъ. Гюйгенс в высшей степени гениальнымъ путемъ пришел к тем же заключеніямъ, что и Рень. Сначала он делает несколько простыхъ предположеній, а затемъ выводит из них свои следствія. К числу этихъ предположеній принадле-

*) Если взятыя массы суть M и m , скорости C и c , то скорость после удара определяется уравненіемъ:

$$M \cdot C + m \cdot c = (M + m) \cdot v$$

При взаимно противоположныхъ направленіяхъ движения одна изъ скоростей считается отрицательной.

жит следующее. Когда два упругих шара одинаковой величины сталкиваются с одною и тою же скоростью, то они отскакивают друг от друга с тою же скоростью, с какой столкнулись. Во время сжатия обе скорости уничтожаются (§ 178, примерь), а во время расширения каждый из шаров получает такую же скорость в обратном направлении. Это приводит Гюйгенса к предположению, что все движения относительны, т. е. в данном случае, если определены относительные движения шаров, то безразлично, представлять ли себе все явление происходящим на неподвижном месте или же на таком месте, которое само находится в движении (рис. 184). Если вышеупомянутый опыт с ударом двух равных по вели-

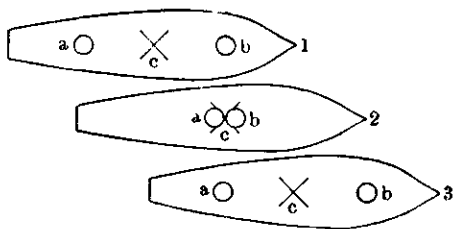
Рис. 184



Движеніе сталкивающихся шаровъ, какъ оно представляется съ лодки и съ земли (по Гюйгенсу).

чине шаров производится в лодке, то можно различить три момента, изображенные на рис. 185: 1. a и b сближаются с одинаковыми скоростями; 2. они сталкиваются в середине, в точке c ; 3. они удаляются друг от друга с равными скоростями. Если лодка движется и притом с тою же скоростью, что и шары, то человеку, смотрящему с земли, будет казаться, что до столкновения (1 и 2) шар b находится как-бы в покое (потому что скорость b к западу и скорость лодки к востоку равны между собою), и что шар a обладает вдвое большею скоростью, чем его действительная скорость. После же столкновения наблюдателю будет казаться (2 и 3), что шар a находится в покое (теперь он столь же быстро движется на запад, как лодка на восток), а шар b теперь имеет двойную скорость. Таким способом Гюйгенс доказывает, что когда упругий шар a сталкивается с таким же по величине покоящимся шаром b (рис. 185, 1—2), то последний (b) приходит в движение со скоростью ударившего по нем шара, а первый (a) останавливается (рис. 185, 2—3).

Рис. 185



Ударъ равныхъ упругихъ шаровъ въ лодкѣ.

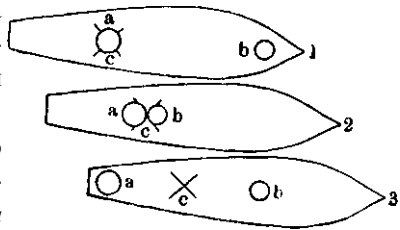
Ударъ равныхъ упругихъ шаровъ въ лодкѣ. Подобным же способом Гюйгенс разсуждал о столкновении шаров неравной величины, движущихся с неравными скоростями. Здесь не место входить въ

подробности этих вычислений; надо будет только указать на то, каким образом подобные исследования привели к положениям, играющим в механике чрезвычайно важную роль.

180. В лодке, плывущей к востоку (рис. 186, 1), лежит большой шар *a* на месте, обозначенном крестиком *c*. Меньший шар *b* катится с восточного конца лодки, со скоростью 10 футов, по направлению к большему и сталкивается с ним (рис. 186, 2). Большой шар приходит вследствие этого в движение. Пусть он двигается со скоростью 6 футов по направлению к западу (рис. 186, 3). Допустим, далее, что лодка движется к востоку со скоростью 3 футов, т. е. со скоростью вдвое меньшей, чем шар *a*. Пока лодка переходила из положения 1 в положение 2, покоящийся шар обладал абсо-

Рис. 186

лютной скоростью в 3 фута по направлению к востоку (т. е. скоростью лодки). Когда лодка переходила из положения 2 в положение 3, тот же шар обладал абсолютной скоростью в 3 фута по направлению к западу (именно, своею собственною скоростью к западу в 6 футов за вычетом скорости лодки к востоку в 3 фута). Шар *a* имеет, таким образом, до и после удара одну и ту же скорость, но в противополож-



Удар неравных шаров.

ных направлениях. Следовательно, от удара другого шара он ни выиграл, ни проиграл силы (воспользуемся временно этим термином), и потому скорость другого шара также могла изменить лишь свое направление, но не величину. До удара скорость шара *b* по направлению к западу равнялась 7 ($= 10 - 3$) футам, после же удара он должен обладать скоростью в 7 футов к востоку. А так как лодка сама движется к востоку со скоростью 3 футов, то внутри лодки шар будет двигаться со скоростью в 4 ($= 7 - 3$) фута. До удара скорости шаров в лодке были 0 футов и 10 футов к западу, после удара — 6 футов к западу и 4 к востоку. До удара они, стало быть, сближались на 10 футов в секунду, после удара — удалялись друг от друга на 10 футов в секунду. Таким способом Гюйгенс доказал, что два неравных шара с неравными скоростями после удара удаляются друг от друга с тою же скоростью, с какою до удара сближались¹⁾.

То обстоятельство, что законы удара можно вывести таким простым способом, уже само по себе представляет интерес. Но важнее всего то, что таким путем Гюйгенс дошел до разсуждений, которые составят содержание следующих параграфов.

¹⁾ Скорость покоящегося шара по отношению к лодке равна нулю, скорость движущегося — *b*. После удара первая скорость по отношению к лодке равна — *a*. Пусть скорость лодки есть *a/2*. Абсолютная скорость первого шара до удара ($-a/2$), после удара — $a/2$. Абсолютная скорость второго шара до удара $a - b$, после удара $b - a/2$, следовательно, скорость относительно лодки $b - a$. Разность между этой скоростью и скоростью второго шара ($-a$) равна *b*, т. е. она осталась неизменной.

Э н е р г и я

181. Еще из работ Архимеда, в особенности же из открытого Стевином начала возможных перемещений (§ 134), вытекало, что произведение из веса тела на его высоту над определенным уровнем дает меру, в футофунтахъ или килограммахъ, — того, чтб может произвести тело, падая со своей высоты до этого уровня. Именно, оно может сообщить другому телу, — будет ли последнее велико или мало, — такое же число футофунтовъ. И то же самое число футофунтовъ необходимо и достаточно затратить для того, чтобы вновь поднять тело до прежняго уровня.

Итакъ, поднятое тело обладает некоторой способностью, которою уже не обладает упавшее, именно, способностью сообщить другому телу определенное число футофунтовъ. В настоящее время эту способность называют энергией, и такъ как известно много родов энергии, то эту форму энергии, зависящую от высоты, на которой находится тело, называют энергией положения.

182. Из исследований Галилея относительно падения тел по наклонной плоскости вытекало, что при падении с известной высоты тело получает определенную скорость и притом независимую от того, падает ли тело свободно, т. е. по отвесной линии, или по какому-либо другому пути. С помощью законов падения (§ 149) легко вычислить, какую скорость имеет падающее тело в каждый данный моментъ, и какой путь оно прошло. Получается следующее:

Время паденія	Скорость	Высота паденія
t	$g \times t$	$\frac{1}{2} g \times t^2$
1 ^s	$32 \times 1 = 32$ фут.	$16 \times 1^2 = 16$ фут.
2 ^s	$32 \times 2 = 64$ „	$16 \times 2^2 = 64$ „
3 ^s	$32 \times 3 = 96$ „	$16 \times 3^2 = 144$ „
4 ^s	$32 \times 4 = 128$ „	$16 \times 4^2 = 256$ „
5 ^s	$32 \times 5 = 160$ „	$16 \times 5^2 = 400$ „
6 ^s	$32 \times 6 = 192$ „	$16 \times 6^2 = 576$ „
7 ^s	$32 \times 7 = 224$ „	$16 \times 7^2 = 784$ „

Отсюда видно, в каком соотношении с высотой падения находится скорость; припомним (§ 157), что тело, брошенное вверх с такою же начальной скоростью, может достичь той же высоты. Тело, скорость которого в 2, 3, 4, 5 раз больше, чем скорость другого, взлетит на высоту в 4, 9, 16, 25 раз большую, чемъ та, которой может достичь это другое тело¹⁾. А так как энергия положения определяется высотой, то тело благодаря своей скорости может получить энергию положения, пропорциональную второй степени скорости. Особенного интереса заслуживаетъ поэтому тот фактъ, что Гюйгенс спустя месяц после того, как онъ представилъ Королевскому Обществу свое сочинение об ударе, былъ въ состоянии послать дополнение, в котором онъ приходилъ к выводу, что при ударе упругих шаров остается неизменнымъ еще и нечто другое, кроме ихъ относительныхъ скоростей. Именно, если вычислить для каждого изъ двухъ телъ произведение

¹⁾ По § 149 $s = \frac{v^2}{2g}$.

из веса (массы) на квадрат скорости и найти сумму этих произведений, то окажется, что эта сумма до и после удара одна и та же¹⁾. То, что можно было бы назвать энергией скорости (энергией движения), не изменяется при упругом ударе.

Это обстоятельство заставляет обратить особое внимание на то, что энергия тела (энергия положения или энергия движения) есть нечто, остающееся при известных обстоятельствах неизменным. Впрочем, в то время еще не заметили, что это нечто остается неизменным при всех обстоятельствах, например, и при неупругом ударе, при котором энергия движения может совершенно уничтожиться (§ 178, примерь), причем на ее место не появляется энергия положения. Впоследствии мы увидим, что причиною этому служит лишь то, что возникают другие формы энергии, которые в то время еще не были известны; мы увидим, что сохранение энергии представляет собою общий закон и притом, может быть, наиболее всеобъемлющий закон природы из всех известных нам в настоящее время. И Гюгеносу принадлежит честь внести существенный вклад в обоснование этого закона.

Жидкости

183. Законы равновесия жидкостей не были в точности известны культурным народам древности, тем не менее они умели использовать некоторые из важнейших свойств воды. Уже в глубокой древности прибрежные жители пользовались водою, как путем сообщения; судостроительство и мореходство было развито задолго до нашей эры. Об искусстве древних мореплавателей можно судить по тому факту, что за 600 лет до Р. Х., по повелению египетского царя Нехо, финикияне совершили плавание вокруг Африки (рис. 187). Наряду с этим уже тогда умели рыть каналы, строить порты и другие водяные сооружения. Как на примерь, следует

Рис. 187



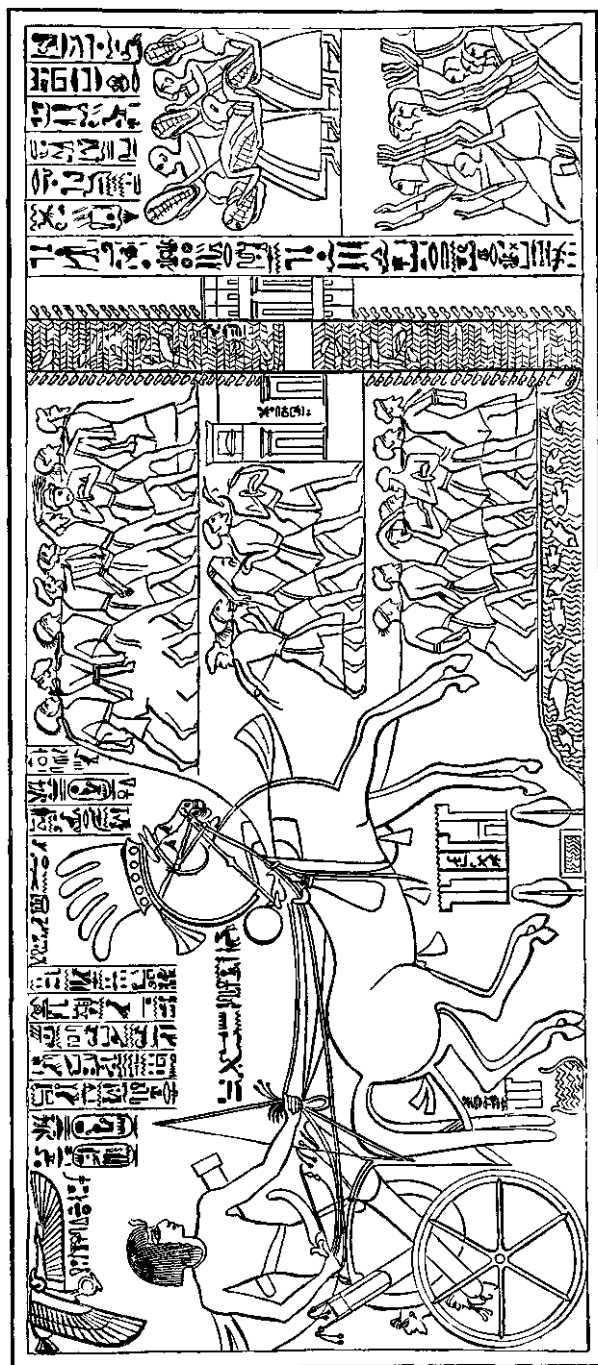
Плавание по Нилу. Уо изображешю на древнеегипетских гробницах близ гор. Саккара.

указать на древний Суэцкий канал, который был прорыт при царе Сетосе (по Геродоту Сезострисе,—ум. в 1388 г. до Р. Х.). На внешней стене храма в Карнаке сохранилось изображение торжественной встречи, устроенной египтянами полководцу, победоносно возвращающемуся из Сирии. Встреча происходит вблизи за-

Если массы суть A и B , скорости до удара v и V , после удара c и C , то

$$v_1^* = Ac' - Bc?$$

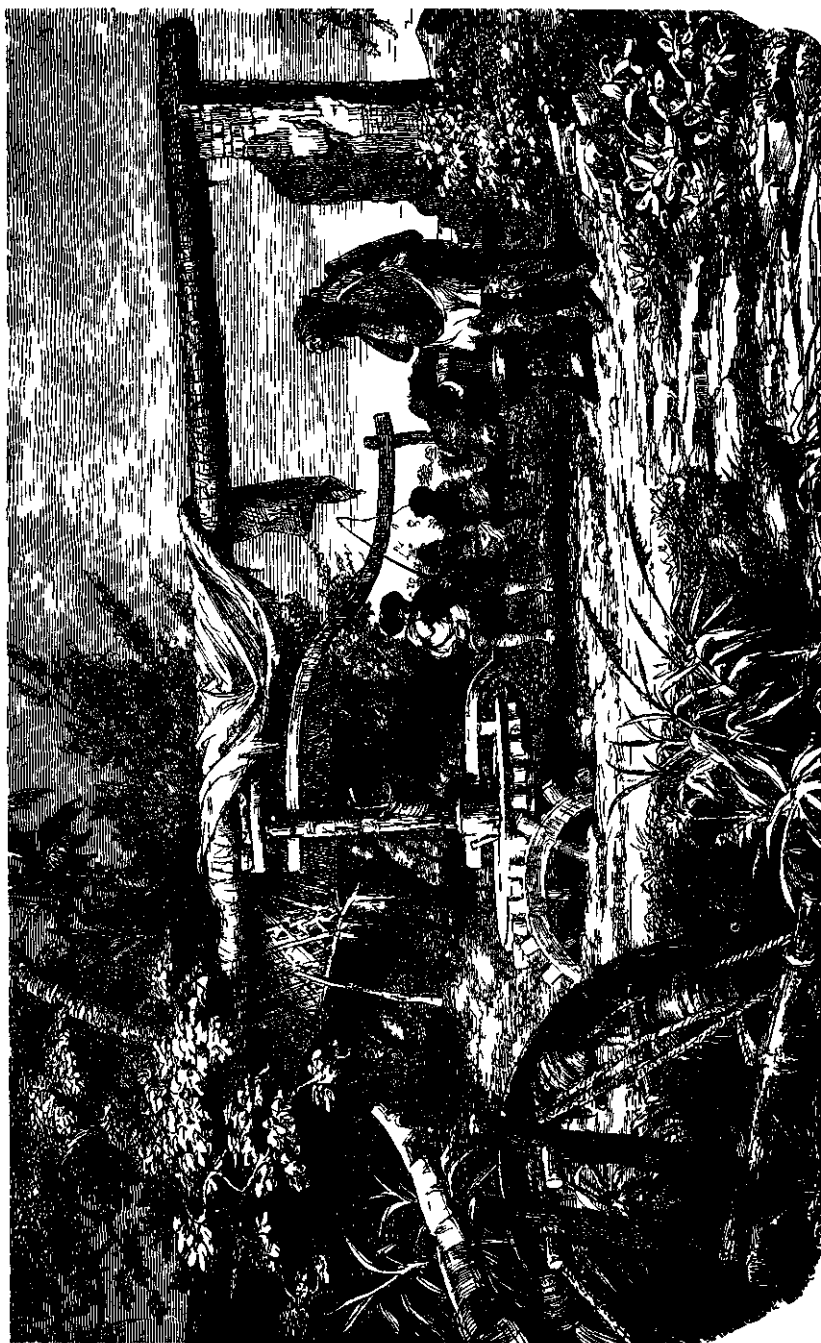
Рис 188



Суэцкий канал царя Сетоса I



Рис. 189



Водочерпалка въ Египтѣ

щищенного башнями моста через этот канал, названный в надписи „прорезомъ" и обозначенный волнами и рыбами (рис. 188).

Далее, у многих древних народов, живших по берегам больших рек, было в ходу искусственное орошение почвы при помощи каналов и шлюзов. Египтяне, как передают греческие писатели, умели также строить водочерпательные машины и такие же приспособления были, повидимому, распространены также в значительной части Азии. Позднее оне были перенесены в Испанию маврами. Водочерпательная машина — водочерпалка — состоит из колеса с прикрепленными к его ободу ведрами; при вращении колеса ведра въ низшем своем положении наполняются водою, а в наивысшем — опорожняются в жолобъ. На рис. 189 на переднем плане слева показана такая водочерпалка, встречающаяся в Египте еще и теперь. Нужно полагать, что древняя водочерпалка мало отличалась отъ этихъ. Можно только заметить, что время изобретения зубчатого колеса неизвестно в точности. Впрочемъ, первая зубчатая колеса, о которых до нас дошли достоверныя сведения, были найдены также в Египте, а именно, они нашли применение в водяных часахъ, устроенных Ктезибием в Александрии в середине II в. до Р. X.

Наконецъ, водяные часы сами по себе свидетельствуют о томъ, что тогда умели уже пользоваться равномерным истечением воды. Правда, относительно указанного свойства жидкости не было произведено ни исследований, ни вычислений, которыя привели бы к важным выводамъ. То же самое приходится сказать и о других указанных свойствах воды, нашедших уже тогда разнообразныя применения. Можно вообще сказать, что вода, играющая такую важную роль в очень многих явлениях природы, обладает известными свойствами, которыя служили в ту эпоху детства человечества развитию сношений и культуры, но гюзнакомиться с которыми можно было и без научных исследований.

И в этой области Архимед (§11бислед.) ИИервый установил общие принципы, из которых получилось много выводовъ, очень далеких от того, что первоначально имелось в виду.

184. Витрувий, писавший о строительном искусстве в 13 году до Р. X., сообщая о некоторых трудах Архимеда, рассказывает следующее: „Гиеронъ, достигши царской власти, пожелалъ, в ознаменованіе своихъ успехов, принести въ дар одному святилищу золотой венокъ. Изготовление венка было поручено мастеру, которому для этой цели было отпущено определенное количество золота. Къ назначенному сроку мастер принес царю прекрасно сработанный венокъ, вес котораго вполне соответствовалъ весу выданного золота. Спустя некоторое время царю донесли, что на венок употреблена лишь часть выданного золота, остальная же часть похищена и заменена серебромъ равного веса. Царь, разгневанный мыслію об обмане и не зная, какимъ путемъ обнаружить утайку золота, поручил Архимеду проверить донос и найти улики. Погруженный в размышления об этомъ деле, Архимед однажды отправился принять ванну. Опускаясь в воду, он замечилъ, что из ванны выливалось темъ больше воды, чемъ больше он погружался в нее. Сообразив истинную причину этого явления, Архимед в сильномъ возбужденіи быстро выскочил из ванны и нагишомъ побежалъ домой, восклицая:

еУоук , *SVQr₁KCt''* (нашелъ, нашелъ!). Позднее к этому восклицанию прибегали не-
счетное число раз и при гораздо менее важных открытияхъ.

Как для царя, так и для Архимеда затруднение заключалось собственно въ следующемъ. Они, разумеется, знали, что-золото очень тяжеловесно; вероятно, они знали также, что оно примерно раз въ 20 тяжелѣе равного объема воды. В слитке, который был выданъ мастеру, нетрудно было, конечно, определить и вес и, пожалуй, объемъ. Но как найти объем венка, состоящего из тонких изогнутыхъ листочковъ? Это-то именно и сообразил Архимедъ, погружаясь в ванну. Наполнив сосуд водою, пока она не стала вытекать из проделанного сбоку отверстия, Архимед погрузил туда венок и собрал вытекшую из отверстия воду. Объем этой воды равнялся, разумеется, объему венка. Еслиб последний был сделанъ из чистого золота, то вес вытекшей воды равнялся бы $\frac{1}{20}$ веса венка. Оказалось, однако, что вытесненная вода весила больше, так что вес венка был не в 20 раз больше веса этой воды. Следовательно, венок был сделан не из чистого золота.

Для простоты положимъ, что венок весил 20 фунтов и что он вытеснилъ не 1 ф. воды, а $1\frac{1}{4}$ ф. Принявъ, что серебро в 10 раз тяжелее вытесняемой имъ воды, Архимеду не трудно было вычислить, что в венке было 5 ф. серебра. Действительно. 5 ф. серебра вытесняют $V_{10}X^{\wedge}$ ф. = $\frac{1}{2}$ ф. воды; в то же время 15 ф. золота вытесняют aoX ф. = $\frac{3}{4}$ ф. воды; таким образомъ, золото и серебро вместе вытесняют $1\frac{1}{4}$ ф. воды¹⁾.

185. Изложенный случай побудил Архимеда заняться исследованием вопро-
са о плавании телъ. Он написал об этом предмете превосходное сочинение, со-
хранившаяся часть которого свидетельствует о томъ, что и в этой области онъ разрешал самые трудные вопросы со свойственной ему уверенностью.

Он начинает с разсмотрения условий равновесия жидкости. Если жидкость на-
ходится в равновесии, то любая ея частица должна испытывать одинаковое давление
со всех сторонъ. В самом деле, еслибы давление на одну какую-либо сторону
ея было больше, чем на другую, то частица должна была бы придти в движение,
так как окружающія ея частицы не оказывают сопротивления ея перемещению.
Архимед далее доказываетъ, что, еслибы наша земля состояла из воды, то она
имела бы шаровидную поверхность. Действительно, если вообразить себе, что этотъ
водяной шар составлен из одинаковых пирамидъ, вершины которых сходятся
в центре, а основания лежат на поверхности шара, то все оне будут устрем-
ляться к центру и смогут уравновесить друг друга только в том случае, если
их высоты будут одинаковы; отсюда следуетъ, что поверхность должна быть
шаровой (рис. 190). Вследствие же того, что этот шар весьма великъ, небольшая
часть его поверхности по виду почти не будет отличаться от плоскости (напри-
меръ, поверхность воды в озере, в пруде или в сосуде, ср. § 24).

¹⁾ Если въ вѣнкѣ было x ф. серебра, то золота въ немъ заключалось $20 - x$ ф. Фунтъ
серебра вытѣсняетъ $\frac{1}{10}$ ф. воды, x ф. серебра вытѣсняетъ $x/10$ ф. воды. Такимъ же образомъ
найдемъ, что $20 - x$ ф. золота вытѣсняетъ $\frac{20 - x}{20}$ ф. воды. Все же количество вытѣсненной воды

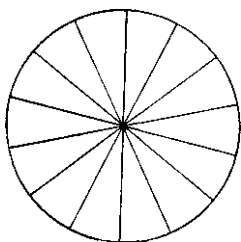
равно $1\frac{1}{4}$ ф. Такимъ образомъ мы получаемъ уравненіе: $\frac{x}{10} + \frac{20 - x}{20} = 1\frac{1}{4}$, откуда $x = 5$.

186. Если опустить в воду тело, имеющее точно такой же вес, какой имеет равный ему объем воды, ТО оно совершенно погрузится в нее (рис. 191, а), так какъ, имея вес вытесненной воды, оно оказывает своим весом точно такое же давление на воду, какое оказывает и сама вода, место которой оно заняло.

Если же тело легче воды (рис. 191, б), ТО оно погружается в воду не целикомъ, а лишь некоиорой частью — такою именно, что вытесненная ею вода имеетъ весъ, равный весу всего тела.

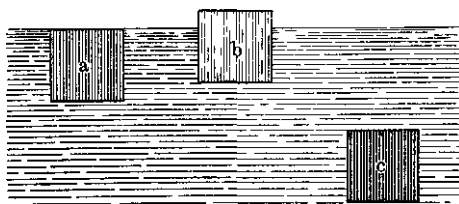
Если, наконецъ, тело тяжелее равного объема воды (рис. 191, с), ТО оно погружается совершенно и опускается, сколько возможно. При этом оно теряет лишь часть своего веса, между тем как тела *a* и *b* теряют весь свой весъ.

Рис. 190



Равновесие в водяном шаре.

Рис. 191



Уменьшение веса тел въ воде

Таким образомъ, ВО всех трех случаях имеет место следующее положение: при погружении в воду тело теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им вода. В самом деле, оставшая вода поддерживала бы эту именно, вытесненную теломъ, массу воды, т. е. давила бы на нее снизу вверх а от давления снизу вверх на тело, заместившее воду, получится такой же результатъ, как будто тело соответственно потеряло в своем весе. Это важное положение и носит название закона Архимеда.

Пример 1. Сколько литров воды вытесняет деревянный брус весом въ 60 кг, плавающий в воде?

Пример 2. Объем камня равен $\frac{1}{4}$ кубм. Определить, на сколько уменьшится весъ, если опустить его в воду?

Пример 3. Яйцо несколько тяжелее пресной воды, но легче соленой. Что с ним произойдет при погружении в пресную воду и при погружении в соленую?

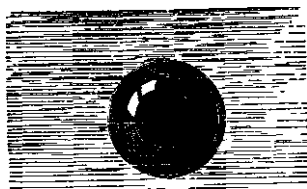
187. В указанном сочинении Архимедъ, таким образомъ, точно выяснилъ основное положение относительно равновесия жидкостей и сам же воспользовался имъ для вывода условий равновесия плавающих тел и для установления закона, носящаго его имя. Однако, сочинение его, хотя и не осталось незамеченнымъ, не было понято, так что открытые им законы пришлось открывать вторично. Это было сделано в конце XVI столетия Стевином (§ 132), который гениально обосновалъ гидростатику, т. е. науку о равновесии и давлении воды. Сочинение его об этомъ предмете появилось в 1585 г. на голландском языке.

Прежде всего он устанавливает следующее: любая частица неподвижной массы воды должна находиться в равновесии в любом месте этой массы; в противном случае эта частица пришла бы в движение и ее место заняла бы другая частица, которая, таким образом, также вышла бы из состояния равновесия; место этой частицы заняла бы тогда в свою очередь новая и т. д. до бесконечности; вся масса воды находилась бы, следовательно, в состоянии непрерывного движения, т. е. получилось бы *perpetuum mobile*, что представляет нелепость. Эта часть разсуждения напоминает, очевидно, цепь Стевина на треугольнике (см. § 136). Отсюда вытекает, что всякая частица спокойной жидкости поддерживается остальной водой. Но для этого должна существовать сила, действующая снизу вверх и уравновешивающая вес частицы. Если мы теперь вообразим, что рассматриваемая частица воды отвердела или закреплена неподвижно, то окружающая жидкость будет попрежнему давить на нее, при чем и давление снизу вверх останется прежним. Если бы, наконец, вещество, составляющее отвердевшую частицу, стало тяжелее или легче, то и тогда давление снизу вверх, оказываемое на нее окружающей жидкостью, не изменилось бы.

Замечательно, как далеко можно пойти с этими простыми и бесспорными основными положениями. В самом деле, их достаточно для развития всей гидростатики.

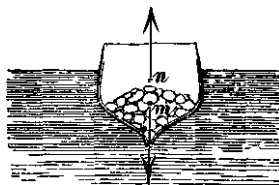
188. Положим, что частица воды находится в окружающей воде в равновесии (рис. 192). В таком случае должна существовать сила, давящая на нее снизу вверх, т. е. поддерживающая ее, и равная ее весу. То же самое имело бы место и в том случае, если бы оболочка этой частицы отвердела, а заключенная в ней вода была бы заменена ртутью, оловом, камнем, свинцом или другим веществом;

Рис. 192



Давление жидкости на тело снизу вверх.

Рис. 193



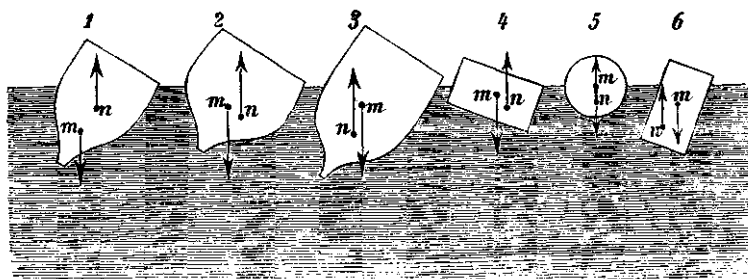
Плавающее тело (поперечный разрез судна).

Во всех этих случаях давление снизу вверх со стороны окружающей жидкости остается то же самое. Под действием своего веса эта оболочка с содержащимся в ней веществом будет стремиться падать вниз, между тем как сила, равная весу вытесняемой ею воды, будет оказывать на нее давление снизу вверх (закон Архимеда), — и это тело либо будет плавать на поверхности, либо останется внутри жидкости в равновесии, либо, наконец, опустится на дно, соответственно тому, будет ли его вес меньше веса такого же объема воды, равен этому весу или больше его.

189. Положение о плавающих телах, изложенное в предыдущем §, было

высказано уже Аристотелемъ; Стевин к этому прибавил еще следующее. Пусть m центр тяжести плавающего тела (рис. 193). Под действием тяжести оно стремится вниз по отвесу. В свою очередь вытесненная вода тоже должна иметь свой центр тяжести n , который является точкой приложения силы давления окружающей ВОДЫ, „центром давления". Если эти две силы, приложенныя в точках m и n , равны, ТО плавающее тело будет в равновесии лишь в томъ случае, когда эти точки будут находиться на одной вертикальной линии. Относительно же различныхъ видовъ равновесія (§ 128) Стевин указываетъ, что устойчивое равновесіе возможно лишь при условии, когда центр тяжести тела находится ниже центра давления (центра тяжести вытесненной воды). Рис. 194, 1 показываеъ, что в этомъ случае тело действительно будет в устойчивомъ равновесіи: силы, приложенныя в точкахъ m и n , заставляють наклонившееся тело вернуться в положение равновесія.

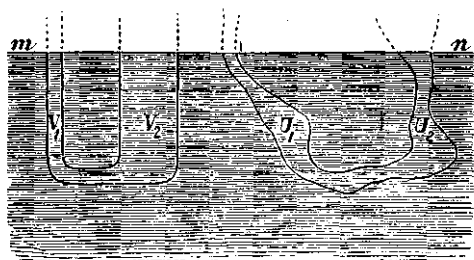
Рис. 194



Плавающія тѣла въ устойчивомъ (1, 2, 4), въ неустойчивомъ (3, 6) и въ безразличномъ (5) равновѣсіи.

Впрочемъ, для устойчивости равновесія это условие может и не быть выполнено съ самаго начала. В самомъ деле, если даже плавающее тело вышло изъ положенія равновесія, его центр тяжести сохраняетъ свое мѣсто въ телѣ. Вытесненная же вода, напротивъ, имѣетъ при этомъ уже другую форму и ея центр тяжести (центръ давления) вследствие этого перемѣщается. А при этомъ можетъ случиться одно

Рис. 195



Законъ сообщающихся сосудовъ (Стевинъ).

изъ двухъ: либо сила, приложенная въ точкѣ n и направленная вертикально вверхъ, совместно съ силой тяжести тела, приложенной въ точкѣ m , возвращають тело въ положеніе равновесія (рис. 194, 2 и 4), либо же, наоборотъ, еще болѣе удаляютъ его отъ этого положенія (рис. 194, 3 и 6). В случаѣ шара точки m и n всегда находятся на одной вертикальной линіи и шаръ, такимъ образомъ, всегда сохраняетъ безразличное равновесіе.

190 Далее Стевинъ разсуждаетъ слѣдующимъ

образомъ.

Выделимъ

мысленно

въ водѣ с уровнемъ m n (рис. 195) ограниченннй объемъ V , V_2 и предположимъ сначала, что его поверхность не мешаетъ частицамъ воды свободно передвигаться. Ни

одна часть этой массы воды при этих условиях не обнаружит стремления перемещаться. Дело не изменилось бы и в том случае, еслибы поверхность выделенной массы воды сразу отвердела. Еслибы это случилось, ТО можно было бы, понятно, удалить воду, находящуюся вне нашей ограничивающей поверхности, нисколько не нарушая равновесия частиц, заключающихся внутри ея. Мы имеем тогда сообщающиеся сосуды; в таких сосудах вода стоит на одинаковой высоте, т. е. уровень ея находится в одной и той же горизонтальной плоскости. То, что сказано относительно $K_1 V_2$, можно буквально повторить относительно $U_1 \xi/2$; другими словами,

Рис. 196



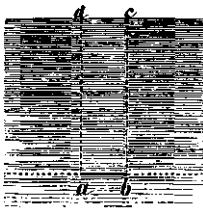
Артезианский колодезь.

закон сообщающихся сосудов приложим к сосудам любой формы. Этот факт был уже небезызвестен ВО времена Стевина. У Архимеда мы находим даже объяснение этого явления. Однако, следует отметить оригинальное объяснение Стевина.

На принципе сообщающихся сосудов основано устройство артезианских колодезев. Если слой песку ограничен сверху и снизу слоем глины, извести или другой непроницаемой для воды породы (рис. 196), ТО через буровую скважину вода может подыматься до поверхности земли или даже выше.

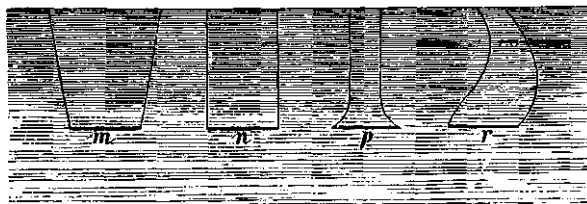
191. Аналогичным образом Стевин объяснял давление воды на поверхность тель, погруженных в воду. Он начинает с указания, что горизонтальная пластинка $a b$, помещенная в воде (рис. 197), должна испытывать давление, равное

Рис. 197



Давление на пластинку
в ВОДЕ.

Рис. 198

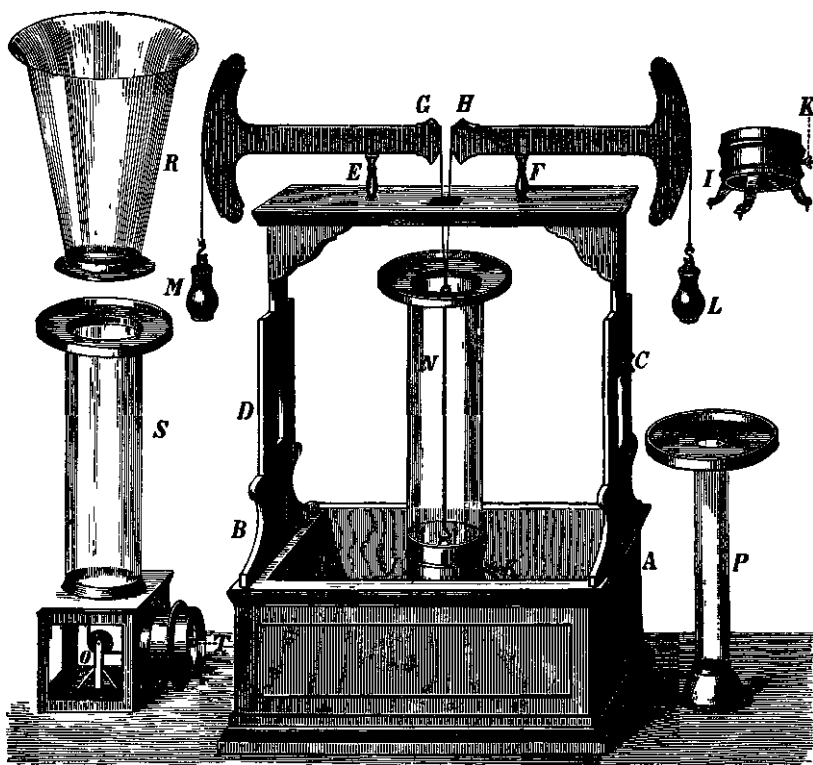


Гидростатический парадокс (Стевинъ).

весу водяного столба $a b e d$, основание которого есть $a b$, а высота $a d$. В самом деле, если представить себе, что пластинка $a b$ служит дном большого сосуда, ТО она должна выдерживать давление массы воды, находящейся в сосуде, и каждая часть дна должна, разумеется, выдерживать соответствующую часть этого давления. Если вообразить себе одинаковыя горизонтальныя площади (рис. 198) m , n , p , z , расположенныя на одной и той же глубине, ТО давление на все эти площади должно

быть одинаково и должно равняться весу водяного столба, находящегося над каждой площадью. Вообразим себе теперь несколько поверхностей различной формы (см. рис.), не препятствующих перемещению частиц воды. Частицы и теперь будут занимать такое же расположение и будут производить то же давление. Если бы эти поверхности внезапно отвердели, не изменяя своего положения, то относительно воды все осталось бы попрежнему. Если, наконец, удалить воду, находящуюся вне сосудов, то останутся сосуды, наполненные до одной и той же высоты, но имеющие различные формы. Во всех этих сосудах дно испытывает одно и то же давление. Таким образом, оказывается, что давление на дно сосуда, наполненного водой, зависит не от формы сосуда и не от количества содержащейся в нем воды, а лишь от площади дна и от высоты воды в сосуде. Это давление равно весу водяного столба, имеющего основанием дно сосуда,

Рис. 199



Так называемый сосуд Паскаля, построенный Стевиномъ

а высотой — высоту жидкости в сосуде. Это положение получило название „гидростатического парадокса" ввиду того, что дно сосуда может испытывать небольшое давление при большом количестве воды и, наоборот, значительное давление при малом количестве воды

192. Чтобы проверить на опыте справедливость этого положения, Стевин построил прибор, изображенный на рис. 199. Над сосудом *AB* находится переключатель, которую можно подымать и опускать, а также закреплять неподвижно при

помощи винтов *C* и *D*. На подставках *E* и *F* расположено по рычагу, к внешним дугообразным концам которых можно привешивать произвольные грузы. Внутренние концы рычагов соединены со стержнем *N* при помощи шнура.

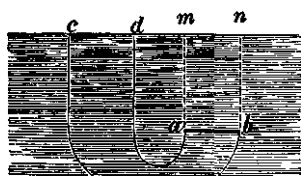
На дне сосуда помещается на треножнике низкий цилиндр *IK*, внутри которого движется плотно пригнанный поршень, скрепленный со стержнем *N*. На цилиндр *IK* можно навинчивать различные трубки, образующия вместе с ним сосудъ, в который наливается вода. На рисунке показан тот случай, когда на *IK* навинчена цилиндрическая трубка. Заменяя ее трубкой *P*, получим сосуд с тем же основаниемъ, но с более узкой верхней частью. Если же навинтить трубку */?*, то полученный сосуд будет сверху значительно шире, чем первый.

Опыты с этими сосудами и показываютъ, что вода, уравнивающая грузы *L* и *M*, во всех трех случаяхъ имеет одну и ту же высоту; количество же воды в каждом из этих случаев совершенно различное. Прибор этот обыкновенно носит название прибора Паскаля, так как Паскаль построил и описал сходный приборъ, не будучи знаком с работой Стевина.

- 193. Стевин показал далее, что давление на малую поверхность внутри воды всегда остается одинаковымъ, независимо от ея положения. Действительно, частица воды должна испытывать одинаковое давление со всех сторонъ, если только мы представляем ее себе столь малой, что можем пренебречь ея собственным весомъ. Если она находится, напримеръ, на ребре боковой стенки и дна сосуда, то она должна давить с одинаковой силой как на стенку, так и на дно. Это может быть доказано при помощи прибора *b*¹ (рис. 199), которым для этой цели следует заменить сосуд *IKN*. Прикрепленный одним концомъ к рычагам *G* и *H* шнурок (при помощи блока *O* шнуру дают горизонтальное положение) другим своим концом привязан к поршню, который движется внутри цилиндра одинакового диаметра с *IK*; поверхность этого поршня отвесна. При этом оказывается, что давление на стенку равно давлению на дно, если уровень воды в сосуде теперь настолько выше середины поршня *T*, насколько прежде, когда поверхность дна *IK* была горизонтальна, он был выше этой поверхности.

194. При помощи разсуждения, которым так часто пользуется Стевинъ, не трудно также доказать, что вода оказывает давление и снизу вверхъ. Площадь *ab*

(рис. 200) испытывает сверху давление, равное ве-



су водяного столба *ab m n*. Но с другой стороны, эта поверхность должна испытывать такое же давление и снизу, иначе она пришла бы в движение. Выделим мысленно объем воды *abed* и представим себе, что ограничивающая его поверхность не препятствует перемещению воды и затем ог-

вердеваетъ.

Представим себе, наконецъ, что осталь-



ная вода удалена Тогда площадь *ab* будет испы-

Объяснение давлениъ снизу вверх тывать давление снизу вверхъ, величина котораго по Стевину. определится размерами площади и ея разстояниемъ от уровня *mn* или *cd*.

Для наглядного пояснения этого положения Стевин придумал и приборъ, который иногда неправильно называют клапаном Бойля (рис. 201). Стекланная

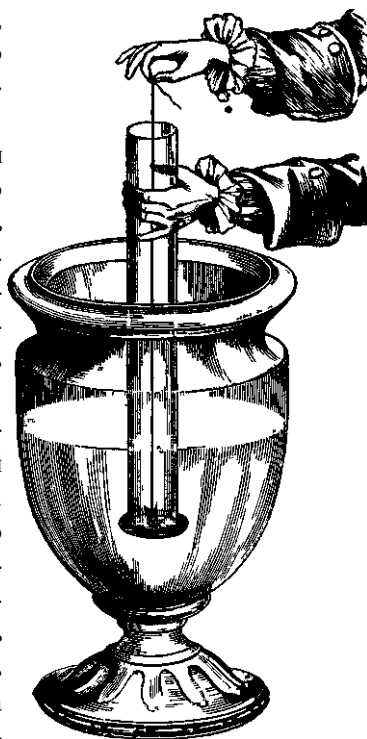
трубка, нижний конец которой гладко отшлифованъ, закрывается металлической пластинкой и опускается в воду. Металлическая пластинка поддерживается давлениемъ воды. Если теперь осторожно сыпать на эту пластинку дробь до тех поръ, пока пластинка не упадетъ, то окажется, что это произойдетъ в тот моментъ, когда общий вес дробы и пластинки станет равнымъ весу количества воды, нужного для наполнения трубки до уровня воды в сосуде. На рисунке показана нить, при помощи которой

Рис 201

придерживают пластинку, пока трубка не погрузится на столько, что пластинка будет поддерживаться уже давлением воды.

195. Эти работы Стевина вдохнули новую жизнь в гидростатику, которая со времен Архимеда не сделала никакихъ успеховъ. Этот знаменитый голландецъ, смотритель водяныхъ сооружений, сумел из данныхъ основныхъ положений вывести дальнейшия следствия, имевшия огромное значение въ практике водяныхъ сооружений.

196. При помощи незначительного количества воды, помещенной в длинной узкой трубке, можно получить огромное давление. Вставив в верхнее дно боченка достаточно длинную трубку и наполнив боченок и трубку водой, можно разорвать боченок давлениемъ воды. Каждый квадратный сантиметръ стенки и верхняго дна боченка испытываетъ давление, приблизительно равное давлению на квадратный сантиметръ нижняго дна при условии, что длина трубки весьма значительна въ сравнении с высотой боченка.



Так называемый клапан Бойля, изобретенный Стевиномъ.

На рис. 202 изображен кожаный мешокъ, наполненный водой. Мешокъ снабженъ узкой трубкой, направленной вверхъ; поверх мешка лежит деревянная доска, на которой стоит человекъ; тяжестью своего тела он заставляет воду подыматься в трубке; вода подымается, однако, совсем невысоко. Если, например, поверхность соприкосания между доской и мешкомъ равна 10 квдм, а вес человека 75 кг, то вода в трубке поднимется только на высоту 7-5 дм, так как 10 X 7'5 = 75 кбдм воды весят 75 кг. Человекъ, стоящий на мешке, в состоянии сам поднять себя, вдвывая воздухъ в трубку.

197. Давление воды на вертикальную поверхность, например, на шлюз Стевина объяснял следующимъ образомъ.

Боковое давление на малую поверхность $\wedge_1$ (рис. 203) равно давлению слоя воды с основащем U_1 и высотой, равной разстоянию этого слоя от поверхности воды $MP - MN$. Поверхность $\wedge_1$ испытываетъ, следовательно, такое же давление, как еслибы слой воды $U_1 \wedge_1$ давил наружу (по направлению стрелки) съ

силой, равной весу этого слоя воды. Точно также давление на U_1 равно весу водяного слоя $U^{\wedge}b_1$ и т. д. Общее давление на поверхность $MNSR$ равно, таким образом, весу водяной призмы $PMNSRO$.

Центр тяжести этой призмы находится, конечно, в плоскости UVY , которая проходит через середины ребер OP , RM и SN . Вес призмы можно себе представить равномерно распределенным по треугольнику $LJ V Y$ или же сосредоточенным в центре тяжести этого треугольника. Расстояние центра тяжести T от $V Y$ равно трети YU (§ 123). Если же опустить перпендикуляр из центра тяжести T

Рис. 202



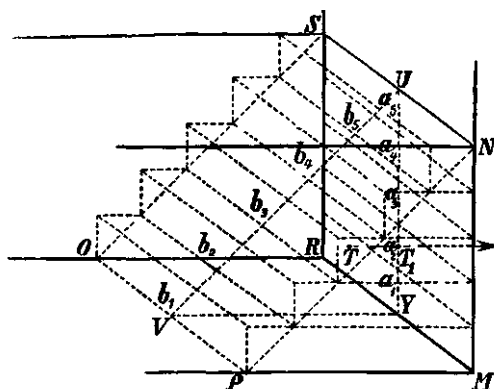
Небольшой столбъ воды уравниваетъ весь чело́вѣка.

1-2 м ширины. Внизу

и на высоте уровня воды он поддерживается двумя горизонтальными балками. Как велико давление на каждую балку?

198. Галилей независимо от Стевина, с работами которого он не был знаком, открыл законы гидростатики, аналогичные тем, какие нашли Архимед и Стевин. При этом он исходил из допущения, что жидкость состоит из маленьких шариков, которые, подобно частицам твердого тела, подчиняются силе "тяжести, но обладают большой подвижностью, так что поддаются малейшему давлению. Обратив особенное внимание на это свойство жидкостей, Галилей пришел к такому выводу; если жидкость заключена в закрытый сосуд, например, в бутылку (рис. 204) и на одну часть поверхности производится давление (при помощи пробки), то оно распространится в жидкости таким образом, что всякая другая часть поверхности такого же размера будет испытывать точно такое же давление. Отсюда следует, что давление, испытываемое поверхностью бутылки, относится к давлению на пробку так, как вся поверхность бутылки к поперечному сечению пробки. Поэтому бутылку, наполненную жидкостью, легко разбить одним

Рис 203



Боковое давление на шлюзъ.

на плоскость $MNSR$, то основание этого перпендикуляра T_1 есть так называемый центр давления, т. е. точка приложения равнодействующей всех давлений на отдельные части плоскости.

Примеръ. Шлюз погружен в воду на 2 м и имеет

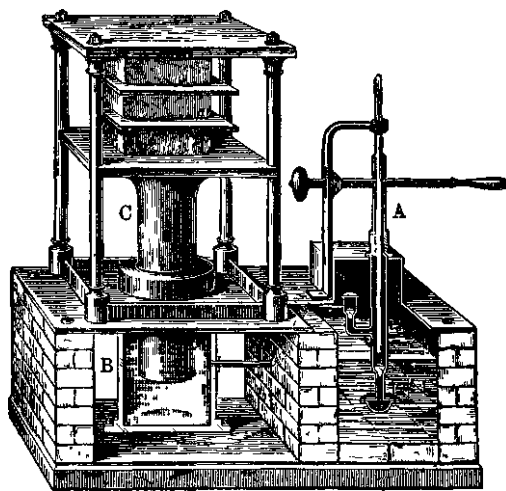
ударом по пробке. Если под пробкой находится воздухъ, то он ослабляет действие удара Галилей воспользовался этим обстоятельством для постройки такъ называемаго гидравлическаго прессы, на который он получил в 1594 г. от венецианскаго дожа патент на 20 летъ. Гидравлический пресс Галилея не нашел сколько-нибудь значительнаго применения. Лишь 200 лет спустя (1795) англійскій механикъ Джозеф Брама (1749—1814) в Лондонѣ получил патент на такой прессъ, предназначавшійся для прессованія сѣна, хлопка и пр. Поэтому гидравлический пресс обыкновенно называютъ прессомъ Брама (рис. 205). В узком ци-

Рис. 204



Передача
давления
въ

Рис. 205



Гидравлический прессъ

линдре *A* с прочными стенками движется при помощи рычага поршень. Цилиндръ этотъ соединяется узкою трубкой съ другимъ широкимъ цилиндромъ, в которомъ движется толстый цилиндрический поршень *c*. Если, напримеръ, поперечникъ узкаго цилиндра составляетъ 1/100 поперечника широкаго, то последний испытываетъ снизу давление в 100 разъ больше, чемъ давление, производимое сверху на узкий цилиндръ, следовательно, давление это более, чемъ в 100 разъ, превышаетъ силу, с которой давятъ на ручку рычага. Широкий поршень подымается, конечно, только на одну сотую часть того разстоянія, на которое опускается узкий поршень, так какъ въ широкий цилиндръ войдетъ столько же воды, сколько ея будетъ вытеснено изъ узкаго цилиндра. Мы видимъ, что начало возможныхъ скоростей соблюдается и въ машинѣ, в которой механической связью служитъ жидкость.

Чтобы имѣть возможность продолжать движение, узкий цилиндръ, подобно насосу, снабжаютъ клапанами, такъ что при повторномъ движеніи рычага изъ узкаго цилиндра в широкий постоянно вгоняются новыя количества воды.

Гидравлический прессъ, которымъ можно производить огромныя давления, находитъ в промышленности много примененій. Онъ служитъ для продавливанія дыръ в желѣзныхъ плитахъ, для прессованія различныхъ материаловъ, для испытанія крепости цепей, паровыхъ котловъ и т. д.

Удельный весъ

199. Задача об определении количества золота в венке, предложенная царем Гиероном Архимеду, побудила последнего заняться исследованием веса телъ сравнительно с их объемомъ.

Подобные вопросы возбуждались и раньше. Уже давно было известно, что некоторые тела, какъ, напримеръ, золото, свинецъ, ртуть имеют большой вес по сравнению со своим объемомъ. Известна была разница в весе даже таких телъ, которыя в этом отношении мало отличаются другъ отъ друга. Знаменитый греческий врач Гиппократ (456 — 366) указывает в одном из своих сочинений, что дождевая вода легче всякой другой воды. Что она легче морской воды, это, пожалуй, нетрудно было заметить. Но нужно удивляться тому, как древние греки со своими несовершенными инструментами сумели подметить, что дождевая вода легче колодезной. Нужно думать, что к этому выводу они пришли скорее умозрительнымъ, чем опытным путемъ. Во всяком случае несомненно, что дождевой водой, по ея весу, пользовались для определения мер емкости.

200. Архимед нисколько не уступал своим предшественникам в математической точности; в исследовании же труднейших проблем математики и механики он пошел даже дальше их всехъ. Ставя умозрение выше опыта, онъ темъ не менее заботился о проверке результатов своих исследований на опыте. Одинъ латинский писатель времен Тиберия (он сообщил нам и историю о золотомъ венке царя Гиерона) упоминает в этом же сочинении о плавающем теле, которое погружается тем глубже, чем легче жидкость, в которой оно находится. Не подлежит сомнению, что Архимедъ, написавший превосходное сочинение о плавлении телъ, умел определять удельный вес не только золота, но и других телъ и что ему были известны и другие способы для этого, помимо того, которым онъ определил удельный вес золотого венка.

Марино Гетальди (род. в 1566 г. в Пагузе, ум. в 1609г. послом венецианской республики в Константинополе) приводит в своем сочинении „Promotus Archimedes“, вышедшем в 1603 году, удельные веса 12 различных веществ — семи известных в то время металловъ: золота, серебра, ртути, свинца, меди, железа и олова, а также воды, вина, меда, уксуса и масла. Так называемая „биланцетта“, служившая для определения удельного веса и изобретение которой приписывали Галилею, есть, вероятно, один изъ тех приборовъ, относительно которыхъ встречаются указания уже у Архимеда.

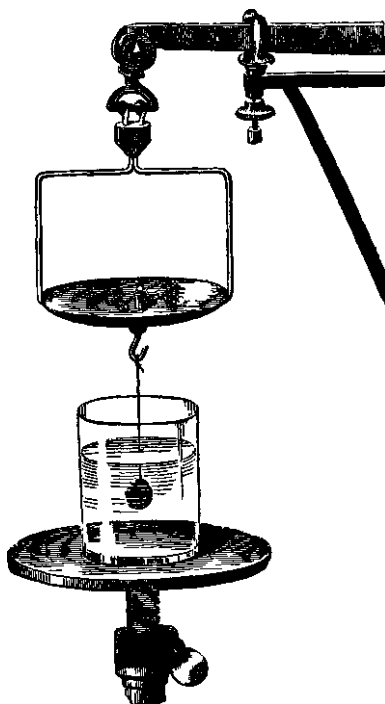
По описанию, „биланцетта“ представляла собой род безмена, при помощи которого можно было обычным путем найти вес тела в воздухе, а также его кажущийся вес в воде. Если тело (например кусок свинца) весит в воздухе 11, а в воде 10 фунтовъ, то оно, согласно закону Архимеду, должно вытеснять 1 фунтъ воды. 11 фунтов свинца занимаютъ, следовательно, тот же объемъ, что и 1 фунтъ воды. Удельный вес свинца равенъ, следовательно, 11 (точнее 11 $\frac{1}{4}$).

201. Это составляет обычный прием определения удельного веса твердых телъ. Для определения удельного веса при помощи более точных весов к одной из чашек прикрепляют крючок (рис. 206), на который вешают испытуемое тело. Определяют вес этого тела в воздухе и в воде. Удельный вес тела по-

лучится, если разделить его вес на потерю веса в воде. В самом деле, потеря веса в воде равна весу такого же объема воды.

Если тело легче воды, то нужно сначала привесить к чашке весов более тяжелое тело, чем данное, затем, погрузив его в воду, уравновесить дробью, песком и т. д. Если теперь положить на чашку весов легкое тело, то можно найти вес его в воздухе, накладывая разновески на другую чашку. Привязав затем легкое тело к тяжелому и погрузив их вместе в воду, для равновесия

Рис 206 придется положить на ту чашку весов, к кото-



рой они привешены, груз, равный потере в весе. Таким путем находится потеря веса легкого тела в воде.

202 Едва ли можно думать, что древние нашли разницу удельных весов вина, соленой воды, дождевой воды и ключевого взвешиванием равных объемов этих веществ, скорее всего, они заметили ее по плаванию тел в этих жидкостях. Существуют различные вещества, удельный вес которых очень близок к удельному весу воды. В этом случае достаточно незначительного изменения плотности жидкости, чтобы плавающее тело стало тонуть или тонущее стало плавать. Вес человеческого тела также очень близок к весу воды, так что в морской воде заметно легче плавать, чем в пресной. Легче плавать также, когда при вдыхании легкие наполняются воздухом. Яйцо плавать в соленой воде, но тонет в пресной.

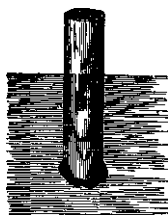
Раз это было замечено, нетрудно было прийти к мысли устроить поплавки таким образом, чтобы на нем можно было легко замечать неодинаковое погружение его в разных жидкостях.

Тот ли это прибор Архимеда, о котором упомянуто в § 200 или нет, но такой прибор, во

всяком случае, известен уже больше тысячи лет. Он имеет некоторое сходство с игрушкой, которой дети часто играют на морском берегу. Она состоит из кусочка камыша, к одному концу которого прикреплен камешек, вследствие чего этот конец становится тяжелее. Если бросить игрушку в воду, то она плавает в вертикальном положении и свободный конец ее находится над водой (рис 207). Чтобы легче наблюдать степень погружения тела в различные жидкости, нужно сделать ту часть тела, которая находится вне воды, очень узкой. Плавающее тело погружается всегда настолько, что вытесненная жидкость имеет вес этого тела. Поэтому тело должно иметь такую форму, чтобы, при заметном изменении погруженной части, оно вытесняло лишь немного больше жидкости. Эти приборы (ареометры) делаются в большинстве случаев из стекла и имеют форму, указанную на рис 208. В шарообразную часть на нижнем конце помещают небольшое количество дробы или ртути. В верхней узкой части находится полоска бумаги со шкалой

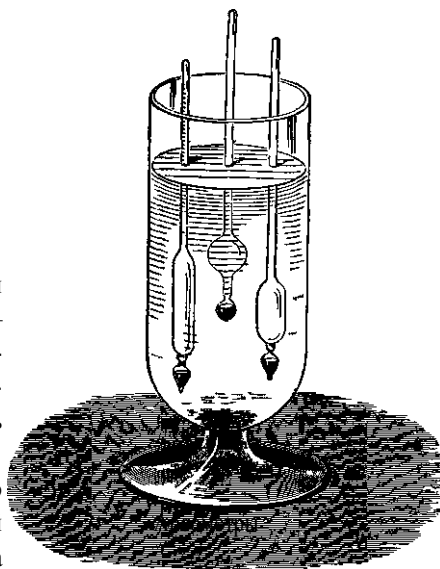
Деленш часто предназначены для определенной жидкости, например, для спирта, который легче воды, или для сахарного или соляного раствора, которые тяжелее воды. В таком случае деленш непосредственно указывают, сколько частей спирта, сахара или соли заключается в данной жидкости. Ареометры, предназначенные для всяких жидкостей, имеют шкалу, на которой непосредственно отсчитывается удельный вес. В большом ходу, особенно в технике, ареометры с совершенно произ-

Рис 207



Поплавок из камыша

Рис 208



вольными делениями, как, например, ареометр Боме (1728 — 1804). Удельный вес, соответствующий данному числу „градусов“ этого ареометра, берется из соответственной таблицы.

203 Кроме такого древнего поплавка, существует еще другой прибор, который построен на ином принципе и которым мы обязаны, можно думать, знаменитой

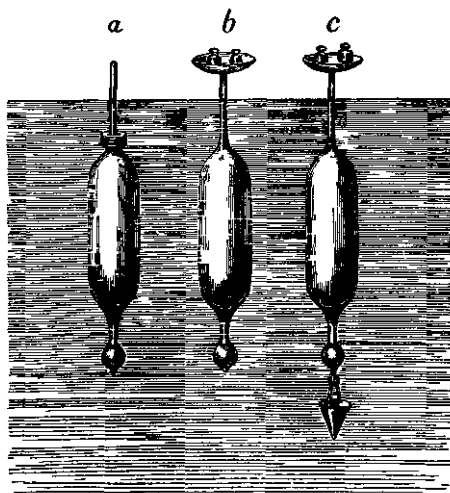
Accademia del Cimento. Он имеет некоторое сходство с огшанными ареометрами, но узкий конец его еще тоньше (рис 209, а) и снабжен не шкалой, а только меткой, до которой он погружается в жидкость при наложении кольцообразных разновесок. Он вытесняет таким образом всегда один и тот же объем жидкости. Таким образом, в каждом случае нужно определить, каким грузом вытесняется этот объем. Необходимо поэтому знать вес самого прибора и вес всех кольцообразных добавочных грузов. Если, например, ареометр весит 60 г и для погружения его в воду необходим добавочный груз в 25 г, а для погружения в спирт до той же черты необходим груз в 18 г, то вес вытесненного количества воды составляет 85 г, вес вытесненного количества спирта 78 г, следовательно, удельный вес спирта равен $\frac{78}{85} = 0,918$.

Этот прибор в 1724 году был усовершенствован Фаренгейтом. На верхнем конце узкой части он поместил маленькую чашечку (рис 209, б), на которую кладутся разновески. Этим устраняется изменение объема погруженной части прибора. Затем, в 1787 году Никольсон поместил на нижнем конце маленькое сито (рис 209, с), так что тот же прибор может служить и для определения удельного веса твердых тел. Чтобы найти вес такого тела, прибор

нагружают разновесками такъ, чтобы он опустился в воду до черты, затем кладут исследуемое тело на чашку и снимают соответствующее количество разновесокъ, так чтобы метка опять была на поверхности воды. После этого перекладывают тело в сито. Грузъ, который нужно положить теперь, чтобы снова погрузить прибор до метки, дает потерю веса тела в воде.

204. Удельным весом часто приходится пользоваться при различных вычисленияхъ, например, при вычислении веса тела по его объему. Для точных вычислений нужно брать удельный вес из подробной таблицы или получить его путемъ

Рис 209.



Ареометръ Accademia del Cimento (а), усовершенствованный Фаренгейтомъ (б) и Никольсономъ (с).

опыта (§§ 201 — 202). Полезно запомнить приблизительные удельные веса некоторых веществъ.

Пробка

Дерево, смотря по породе и по степени сухости от $\frac{1}{3}$ до $1\frac{1}{3}$

Большинство камней, гли-

на, песокъ, кирпич стекло

от 2 „ 3

Алюминий

Железо, сталь, олово от 7 до 8

Медь 9

Серебро 10

Свинец 11

Ртуть 14

Золото, платина 20

Иридий 23

Безводный спирт имеет удельный вес 0'8. Масло вообще немного легче воды; из вин одни легче воды,

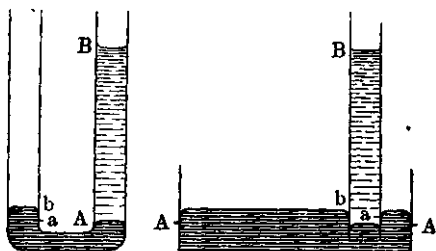
другия тяжелее воды. Водные растворы, вообще говоря, тяжелее воды, но даже самые крепкие растворы редко имеют удельный вес больше $1\frac{1}{2}$. Если помнить, что литр воды весит килограммъ, то нередко можно определить приблизительный весъ данного объема вещества.

Пример 1. Сколько весит кирпич длиной в 25 см, шириной в 12 см и толщиной в 6'5 см (нормальный кирпич в Германии)? Пример 2. Сколько весит железная ось в 6 м длины и 10 см въ поперечнике? Пример 3. Какой объем занимают 50 кг пробки? Пример 4. Дубовый ствол (уд весъ = 1) имеет в длину 5 м, а в толщину 0'6 м. Каков его весъ? Пример 5. Для грома отвода нужен медный стержень длиной в 20 м и в 1 см поперечникомъ. Сколько содержится в нем килограммов меди? Примеръб. Крышу нужно покрыть свинцовыми листами в 2 мм толщиной. Поверхность крыши 30 квм. Сколько килограммов свинца пойдет на это? Пример 7. Стеклянная трубка длиной в 80 см заканчивается шаромъ. Трубка и шар наполнены ртутью. Какое давление оказывает ртуть на каждый квадратный сантиметр поверхности шара? Пример 8. Шпицъ колокольни с поверхностью в 2 квм позолочень 2 г золота. Какова толщина слоя золота?

205. Если налить в одинъ сосудъ несколько жидкостей, то оне расположатся в нем горизонтальными слоями — соответственно своим удельным весамъ, при- том такъ, что самая тяжелая из них расположится на дне. Тогда во всех точ- ках горизонтальной плоскости на любой глубине давление будет одно и то же, т. е. будет выполняться необходимое условие равновесия (§ 191). Еслибы горизонтальный слой воды лежалъ поверхъ слоя масла, жидкости тоже находились бы в равнове- сии, но это было бы неустойчивое равновесие и достаточно было бы малейшего толч- ка, чтобы масло, какъ более легкая жидкость, стало подыматься наверхъ, и обе жид- кости пришли бы в состояние покоя лишь тогда, когда слой масла лег бы поверхъ слоя воды.

Если в сообщающихся сосудах находятся жидкости различного удельного ве- са и если тяжелой жидкости, напримеръ, ртути, имеется столько, что она можетъ закрыть весь просвет трубки, то, как легко можно видеть, вода в одном ко- лене станет выше, чем ртуть в другом колене, независимо от того, имеетъ ли прибор форму (7-образной трубки или состоит из одного открытого колена при более широком сосуде (рис. 210). В плоскости Aa повсюду должно быть одинаковое давление. Но это может иметь место только в том случае, если во- дяной столб AB и ртутный ab давят с одинаковой силой A так как давление

Рис 210



Жидкости различного удѣльнаго вѣса въ сообщающихся сосудахъ.

Рис. 211



Сосудъ съ ртутной пробкой.

в A и в a не зависит от ширины и формы водяного столба (§ 190), а только от его высоты, то столб AB должен быть во столько раз (14) выше столба ab , во сколько раз ртуть тяжелее воды. Высоты и удельные веса жидкостей долж- ны находиться, таким образомъ, в обратном отношении.

Пример 1. Боченок в 1 квм в поперечнике наполнен до высоты 1 м спиртомъ, удельного веса 0^р85 (рис. 211). Внизу насаживается £/-образно изогнутая трубка в 1 см в поперечнике. В трубке находится ртуть. На сколько сантимет- ров стоит ртуть во внешнем колене £/-образной трубки выше, чем во внут- реннемъ? Сколько граммов весит эта ртуть? Сколько килограммов спирта урав- новешивает она?

Приборы, основанные на свойствах воды и воздуха

206. Теория и практика нередко относились с пренебрежением друг к другу. Первая полагала, что только она имеет всеобщую и вековечную ценность для человечества; вторая же указывала на осязаемую реальность, как на единственное, на что можно полагаться и что имеет цену для практической жизни.

Временами теория и практика действительно могут развиваться независимо друг от друга, но ни одна из них не может обходиться без плодотворного влияния другой сколько-нибудь долгое время. Иллюстрацией к сказанному могут служить греческие математики и философы. Создав много великого в своей области, они сторонились окружающей жизни, что не могло не иметь своим последствием известной односторонности. Нужно удивляться тому, что такой одаренный народ так мало подвинул вперед естественные науки. Это объясняется, однако, тем, что лишь немногие среди греческих математиков интересовались природой. Но зато, если какой-либо вопрос из этой области становился предметом исследования, то греки всегда достигали значительных результатов. Достаточно привести имена Аристарха и Гиппарха в астрономии и Архимеда в механике. Архимед, как работник в сфере отвлеченной мысли, едва ли имел себе равного; путем чистого умозрения он завоевал новые области в науке, как, например, учение о равновесии. Но он не преминул также использовать свои познания и свои дарования во время осады Сиракуз. Он в совершенстве оперировал с бесконечно-малыми, трактовал о кривых линиях и кривых плоскостях, писал о круге, о шаре, о конусе и о цилиндре, устанавливая при этом абсолютные истины, которые до него не были известны; он не остановился перед кропотливой задачей вычисления длины окружности; причем, конечно, он не нашел абсолютно точного числа, а лишь приближение, к которому математики-софисты отнеслись с пренебрежением.

207. Теперь мы переходим к другому великому математику, также представлявшему исключение из общего правила, а именно—к Герону Александрийскому. О его личности мы знаем мало. Он жил около 100 г. до Р. Х. Его учителем быть, по видимому, Ктезибий. Последний был сыном "брадобрея и в молодые годы занимался делом своего отца, но впоследствии он изобрел большое количество физических приборов, водяные часы (§ 158), водяной орган, нагнетательный насос и метательную машину, на подобие воздушного ружья, метавшую пули при посредстве сжатого воздуха. Надо полагать, что своими изобретениями Ктезибий отчасти обязан египтянам; заслуга его заключалась частью в том, что он раскрыл некоторые тайны египтян и представил их в лучшей форме.

Ученик его, Герон был высокоодаренный и оригинальный математик. Он с поразительным искусством умел соединять теорию с практикой. Так, он написал книгу о землемерии при помощи диоптров, которая является первым обстоятельным руководством по этому предмету. Египтяне, у которых землемерие играло важную роль, пользовались даже во времена Герона устарелым методом, приводившим иногда к совершенно неверным результатам. Труд Герона явился полным руководством к производству как практических измерений, так и вычислений, для которых он дал особые формулы. Он, например, дал фор-

мулу для вычисления площади треугольника по трем сторонам его, повидимому, найденную им самим¹⁾.

208. Геронъ, между прочимъ, написал книгу о применениях воды и воздуха. Эта книга начинается такъ: „В виду того, что древние философы и математики считали важнымъ тщательное изучение свойств и силы воздуха, при чемъ одни изъ нихъ исследовали этотъ предметъ чисто умозрительно, между темъ какъ другие наблюдали действие воздуха на чувства, я счелъ необходимымъ изложить все то, что дошло до насъ объ этомъ предмете, и прибавить то, что нашли мы сами. Этимъ будетъ оказана существенная услуга темъ, которые пожелали бы заняться изучениемъ математики, и сверхъ того... это можетъ принести большую пользу на практике, а также служить предметомъ большого удивления".

Изъ этого предисловия можно заключить, что Геронъ имелъ въ виду в одинаковой мере какъ объяснение явлений, такъ и ихъ полезныя применения. Вместе съ темъ читатель узнаетъ, что часть изобретений, перечисленныхъ въ книге, лишь собрана авторомъ, другая же часть принадлежитъ ему самому, а также, что одни открытия имеютъ практическое значение, другія же служатъ скорее для удовлетворения нашей любознательности.

Эта книга представила огромный шагъ впередъ во многихъ отношеніяхъ. Въ первый разъ греческій математикъ ставитъ себѣ целью практическую пользу, не упуская вместе съ темъ изъ виду и теоретической стороны дела. Далее, въ этой книгѣ впервые приведены принципы новой технической системы пользования водой, упразднившей устарѣлыя водочерпательныя машины. Правда, некоторыя детали этой системы существовали (въ Египтѣ и при Ктезибии) еще до Герона; но только послѣдній переработалъ ее заново въ совершенно новую систему, дополненную его собственными изобретениями.

209. Наконецъ, этой книгой Геронъ сделалъ значительный шагъ впередъ еще и въ томъ отношеніи, что въ ней онъ теоретически обосновалъ эту новую техническую систему. И эта теорія не принадлежала ему целикомъ, такъ какъ некоторыя части ея можно найти еще у Аристотеля. Но Геронъ развилъ ее съ такою полнотою и ясностью и такъ широко использовалъ ее для примененій, что она является у него какъ бы совершенно новой. Теорія эта заключается въ слѣдующихъ положеніяхъ, приведенныхъ непосредственно после указаннаго выше предисловія: „Прежде чѣмъ приступить къ тому, что я намеренъ здѣсь изложить, необходимо рассмотреть „пустоту". Одни утверждаютъ, что пустоты вообще не существуетъ; другіе же полагаютъ, что пустота не можетъ образовать цѣлыхъ пространствъ, но что она можетъ заключаться въ промежуткахъ между частицами воздуха, воды, огня и другихъ тѣлъ. Последнему мнѣнію мы отдаемъ предпочтеніе, такъ какъ оно кажется правильнымъ и съ перваго взгляда и после размышленія. Въ самомъ дѣлѣ, сосудъ, напримеръ, кажущійся многимъ пустымъ, въ действительности не пустъ, а наполненъ воздухомъ. Воздухъ же, по мнѣнію людей, изучающихъ природу, состоитъ изъ легкихъ тѣлецъ. Наливая воду въ пустой на видъ сосудъ, мы въ сущности темъ самымъ уда-

¹⁾ Пусть стороны треугольника будутъ a , b , c ; полусумма длинъ его сторонъ пусть будетъ s ; тогда площадь треугольника будетъ:

$$\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}.$$

ляем из него столько воздуха, сколько наливаем туда воды. В сказанном можно убедиться следующим образомъ. Опустим в воду пустой, повидимому, сосудъ дномъ вверхъ; вода в него не войдетъ, даже если мы его совершенно погрузимъ в нее. Очевидно, таким образомъ, что воздухъ, подобно всякому другому телу, препятствуетъ воде войти в сосудъ, который имъ наполненъ. Но если проделать отверстие в дне, то вода наполнитъ сосудъ, вытеснивъ воздухъ черезъ это отверстие. Если же извлечь изъ воды сосудъ, не пробуравливая в дне его отверстия, то мы не заметимъ на внутреннихъ его стенкахъ следовъ жидкости, — оне будутъ сухи, какъ и до погружения в воду. Поэтому воздухъ нужно разсматривать, какъ тело. Пришедши в движение, воздухъ производитъ ветеръ; ветеръ есть не что иное, какъ движущийся воздухъ. Если держать руку нао, отверстиемъ въ дне сосуда, то легко почувствовать идущий оттуда ветеръ во все время наполнения сосуда водою. Но этотъ ветеръ есть не что иное, какъ воздухъ, выталкиваемый водой; невозможно поэтому допустить, что пустота сама по себе можетъ образовать нечто целое. Она распределяется мельчайшими частями в огне, в воде и в другихъ телахъ, не исключая и алмаза, который, повидимому, какъ будто свободенъ отъ пустоты, такъ какъ онъ не накаляется и не разбивается даже подъ молотомъ на наковальне. Но это объясняется не отсутствиемъ в немъ пустоты, а лишь его значительной плотностью. Вследствие же того, что частицы огня больше, нежели пустоты алмаза, огонь не в состоянии проникнуть в нихъ; онъ лишь можетъ прикасаться къ его внешней поверхности".

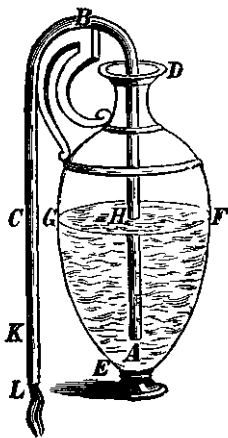
Итакъ, по мнѣнию Герона не существуетъ значительныхъ пространствъ, которыя ничемъ не были бы заполнены. Где нетъ воды или другого видимого тела, тамъ есть воздухъ — и воздухъ есть также тело, равно какъ и огонь. Но все тела пористы, т. е. обладаютъ множествомъ маленькихъ пустотъ; это справедливо не только относительно воздуха, но и относительно другихъ телъ. Когда тела накаляются, то ихъ пары, по мнѣнию Герона, пронизываются огнемъ, который, в свою очередь, есть также тело. Равнымъ образомъ алмазь, который, какъ тогда полагали, не можетъ быть раскаленъ, по мнѣнию Герона также пористъ; но поры его настолько малы, что огонь не можетъ проникнуть в нихъ, а самъ алмазъ не можетъ быть сжатъ между молотомъ и наковальней. Чтобы окончательно убедить в пористости телъ, Геронъ говоритъ: „Какимъ образомъ светъ, теплота или иныя матерiальныя силы могли бы проникать в воду, в воздухъ или в другія тела?“ Подобнымъ же образомъ онъ доказываетъ пористость воды и вина способностью этихъ жидкостей смешиваться совершенно; при этомъ, конечно, частицы одной жидкости проникаютъ в поры другой. Сжатiе и расширенiе телъ онъ также объясняетъ исключительно уменьшениемъ и увеличениемъ поръ, тогда какъ сами частицы телъ ни увеличиваются, ни уменьшаются. При отсутствii внешней силы тело всегда занимаетъ свой естественный объемъ. Если подуть в бутылку и сейчасъ же заткнуть ее пальцемъ, то в ней сверхъ первоначального воздуха будетъ находиться и вдутый нами; вследствие чего поры уменьшаются, какъ уменьшаются пустые промежутки въ сжимаемой губке. По удаленii же пальца часть воздуха выходитъ, а оставшiйся въ бутылке воздухъ занимаетъ свой естественный объемъ, при чемъ поры принимаютъ первоначальную величину. Если изъ бутылки высосать часть воздуха, то поры оставшагося воздуха получаютъ неестественную для нихъ величину; вследствие этого

оне приобретают стремление сократиться и втягивают кожу пальца в отверстие бутылки. Если теперь удалить палец, ТО поры сокращаются, а извне в бутылку входит воздухъ.

210. С помощью этой теории Герон объясняет действие аппаратов и машинъ, описанных в его замечательном сочинении, положившем начало новой эре в гидротехнике. Древняя водочерпалки заменяются помпами, насосами, сифонами и т. д., причем в основе всех этих приборов лежит принципъ, что воздухъ есть тело и что пустота может существовать не в виде значительных пространствъ, а лишь в виде поръ. Проникнутая этой теорией, книга Герона оказывала свое влияние 1700 летъ. И если после такого долгого промежутка времени другая теория должна была, наконецъ, заменить ее, ТО это доказываетъ лишь ТО, что иногда теория может охватывать явления в их связи, „объяснять“ их очень хорошо и всетаки не быть безусловно верной — когда-нибудь открываются новыя явления, КОТорыя эта теория не может объяснить. Тогда нужно искать новой теории.

211. Прежде всего Герон описывает и объясняет сифонъ. Перегнутая трубка *ABCKL* (рис. 212) стоит одним коленом в сосуде *DE*, который наполнен водою до высоты *FG*. Внутри этого колена вода стоит на той же вы-

Рис. 212



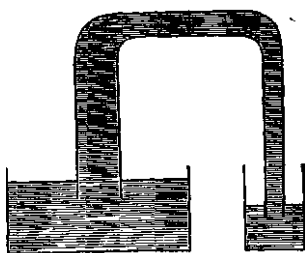
Сифонъ.

те, что и в сосуде. Если теперь высосать ртом у *L* часть воздуха изъ трубки, ТО поры в оставшемся воздухе станутъ болыие. Расширившись такимъ образомъ, воздухъ стремится занять свой естественный объемъ и потому втягивает в трубке воду на известную высоту. Если такимъ высасываньемъ удалить досточное количество воздуха, ТО вода наполнит не только колено *HB*, но и колено *BC*. Еслибы вода не пошла дальше *C*, ТО она оставалась бы на весу, как грузъ. Вода должна была бы стремиться стекать вниз в обоих коленахъ, но она не может разделиться в верхней части сифона, так как не может существовать сколько-нибудь значительного пустого пространства. Еслибы, наоборотъ, в *B* была просверлено в трубке отверстие, ТО вода действительно стекла бы вниз в обоих коленахъ, причем воздухъ входил бы через это отверстие. Раз отверстия нѣтъ, ТО обе части жидкости могут быть в равновесии только в том случае, если *C* находится на той же точно высоте, на какой лежат *F* и *G*. Если *C* лежит несколько выше, ТО вода во внутренней трубке увлекает за собою воду во внешней трубке. Напротив того, если *C* лежит несколько ниже, ТО внешний столбъ воды тянет за собою внутреннИЙ и притом до техъ поръ, пока конец *L* трубки лежит ниже поверхности воды в сосуде и пока вода не понизится до конца *A* внутренняго колена.

Говоря такимъ образомъ о равновесии масс воды в обоих коленахъ, Геронъ, повидимому, не теряет из виду, что его объяснение может быть ионято неправильно. А именно, он прибавляетъ, что не следует думать, будто при помощи сифона можно заставить воду вытекать из сосуда, сделав внешнее колено его шире, но короче, чем внутреннее, так чтобы оно оканчивалось выше поверхности воды *FG*. Можно было бы думать, что более значительное количество воды во

внешнем колене должно потянуть за собою воду во внутреннем колене, масса которой меньше, хотя бы внешнее колено было короче внутреннего. Имея в виду это возможное недоразумение, Герон подчеркивает, что вода втекает назад, раз внешнее отверстие лежит выше FG , даже если внешняя трубка шире внутренней. Он объясняет этот факт следующим образом. Свободная поверхность всех масс воды на земле, сообщающихся между собой, согласно Архимеду должна представлять шаровую поверхность, центр которой совпадает съ центром земли. Если изогнутую в виде U трубку наполнить водой доверху, закрыть ее концы, перевернув, поставить ее обоими коленами в сосуд с водой (рис. 213) и затем отнять пальцы, то вода в трубке не разделится, так как пустота не мо-

Рис. 213



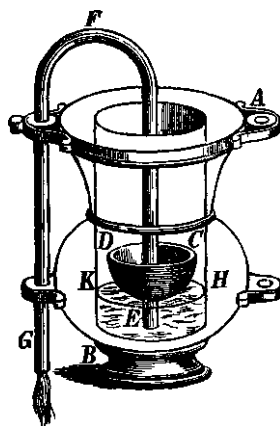
Героново объяснение сифона.

жет образоваться. Таким образом, находящаяся в трубке вода образует соединение между двумя массами в сосудах. Значит, вода не будет в равновесии до тех поръ, пока ее поверхность в обоих сосудах не будет представлять собой одну и ту же шаровую поверхность, центр которой находится в центре земли, т. е. пока она не будет находиться в обоих сосудах в одной и той же горизонтальной плоскости. Следовательно, вода должна входить в то колено, которое погружено в сосудъ с более высоким уровнем воды, хотя бы даже это колено было шире. Таким образом, равновесие зависит не от количества воды в коленах трубки, а только от высоты воды (ср. положение Стевина о сообщающихся сосудахъ, § 190).

212. Так как сифон понижает уровень воды в сосуде, то вода вытекает из него постепенно все медленнее. Для того, чтобы сделать истечение воды равномернымъ, Герон построил прибор рис. 214. Внутреннее колено сифона оканчивается в дне чашки CD , к которому оно прикреплено наглухо. Эта чашка плавает на воде в сосуде и при понижении уровня следует за нимъ, так что сифон понижается настолько же, насколько и уровень воды; два кольца заставляют держаться его правильно, не мешая его опусканию. Таким образом, отверстие внешнего колена всегда остается ниже поверхности воды на одинаковую величину.

Того же результата можно было бы добиться гораздо легче, закрепив колено сифона вместо чашки CD на куске пробки.

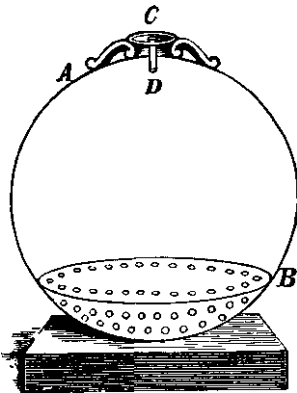
Рис. 214



Сифон с равномернымъ истечениемъ воды.

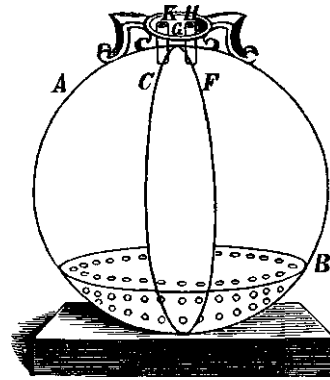
213. Герон описывает шаръ, сработанный из металла (меди), в дне которого сделано много отверстий, как в сите (рис. 215), и который сверху снабженъ короткой трубкой С; ее можно закрывать пальцемъ. Если погрузить этот шар въ воду, оставить трубку С открытой, то вода входитъ снизу в шаръ, а воздухъ выходитъ вверхъ сквозь трубку. Если теперь закрыть трубку С пальцемъ и вынуть шар из воды, то вода не будетъ вытекать из него, так как в шарѣ не можетъ образоваться пустое пространство. Но если отнять палецъ от отверстия С, то вода вытечетъ из отверстий в дне. — Один такой прибор (рис. 216), описанный

Рис. 215



Металлический Геронов шаръ.

Рис. 216



Магический шар Герона.

Герономъ, имелъ внутри стенку, разделяющую его пополамъ, а въверху две трубки с каждой стороны стенки. Эти две половины сосуда можно наполнить разными жидкостями, напримеръ, одну водою, а другую виномъ, и затемъ, открывая либо одну, либо другую трубку, можно выпускать из шара ту или другую жидкость по произволу.

Первый из этихъ приборовъ мы находимъ и в наши дни в так называемой пипетке (рис. 217J; взятую ею жидкость можно выпустить в любомъ месте и въ любомъ количествѣ.

Вторымъ приборомъ, в несколько измененной формѣ, пользуются фокусники для того, чтобы наливать различные сорта вина из одной и той же бутылки. Внутренняя часть такой бутылки состоит из несколькихъ отделений, каждое из которыхъ можетъ открываться в горлышко бутылки отдѣльно, если наклонить бутылку и в то же время отнять палецъ от отверстия к соответствующему отделению бутылки.

214. Герон описываетъ также другой приборъ, волшебный кубокъ (рис. 218). На дне этого кубка укреплена трубка, сверху закрытая, но снизу снабженная маленькими отверстиями, сквозь которые можетъ входить вода. Внутри этой трубки находится другая, открытая с обоихъ концовъ. Нижний конецъ этой трубки проходитъ сквозь дно сосуда, а верхний почти достигаетъ верхняго конца внешней трубки. При наливаніи воды в кубокъ, она проходитъ также в трубку ///, но когда

кубок уже почти полонъ, вода в трубке подымается так высоко, что попадает во внутреннюю трубку сверху. В эту минуту обе трубки действуют, как сифонъ, — вода вытекает и вытекает до тех поръ, пока не опорожнится весь кубокъ.

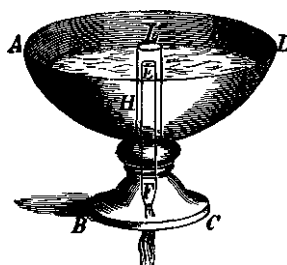
Таким же образом объясняются и перемежающиеся пруды (рис. 219), т. е. пруды, в которых вода (во время дождей) подымается до известной высоты, но затемъ снова исчезает и пруд совершенно пустеетъ. В таких прудах на дне находится водопроницаемый слой, который, поднявшись сначала до известной высоты между

Рис. 217

двумя

Рис. 218 водонепроницаемыми

слоя-



ми, ведет затем в более низкое место. Этот водопроницаемый слой нужно рассматривать как сифонъ, который начинает действовать, когда наполняется водою, т. е. когда вода в пруде достигает требуемой высоты.

215. В 76 отделах своей книги Герон описывает массу

Волшебный кубокъ приборовъ, которые в большинстве случаев глумили для прои-

водства забавных опытовъ Пропуская воздухъ, вытесняемый водою, сквозь флейту, онъ заставляет петь искусственныхъ птицъ. Он описывает дерево, на котором находился драконъ и возле которого стоял Геркулес со стрелою на луке. Стояшю поднять яблоко, лежащее под деревомъ, — этим тянется шну-

рокъ, Геркулес пускает свою стрелу в дракона, а драконъ

Пипетка испускает крикъ. Эти и подобные этим автоматы, приводившиеся в движение давлением воды, указывают на то, что изобретен-

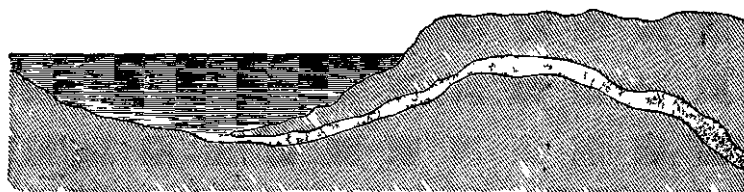
ные Ктезибиемъ водяные часы начали у Герона развиваться в водяные автоматы, которые в IX веке, благодаря посредству арабовъ, нашли доступ в Европу (§ 158) Это, конечно, принесло мало пользы развитию естествознания, но несколько больше содействовало развитию искусства постройки приборовъ. — О других автоматахъ, приводившихся в движение огнемъ, будет речь ниже.

216. В десятом отделе своей книги Герон описывает клапанъ, который с тех пор играл очень важную роль; из подробности, с которой описанъ этот простой приборъ, можно заключить, что в то время клапан представлялъ нечто новое. Это описание гласит следующее. „изготавливают две четырехугольныя пластинки (рис. 220) соответственной толщины, длиною в палец с каждой стороны. Своими поверхностями они пригоняются друг к другу и шлифуются такъ, что между ними не может пройти ни воздухъ, ни вода. Пусть эти пластинки будут $ABCD$ и $EFGH$. В одной из нихъ, именно $ABCD$, просверлено круглое отверстие в одну треть пальца шириной. Край CD соединен при помощи шарнира с краем FE , так что отшлифованныя стороны металлических пластинокъ ложатся одна на друиую. Когда хотят воспользоваться этими клапанами, то пластинку $ABCD$ наглухо припавивают к отверстию, сквозь которое должен входить въ сосуд воздух или вода. В таком случае при давлении изнутри пластинка $EFGH$

открывается и пропускает воздух или воду. Но затем давление воздуха или воды будет прижимать пластинку *EFGH* к отверстию, сквозь которое входит воздух или вода".

Весьма замечательно, помимо подробностей этого описания, то обстоятельство, что Герон описывает клапанъ, как отдельный приборъ. Это описание образуетъ в книге самостоятельный отдел и клапан не обозначается в немъ, как составная часть какого-нибудь определенного прибора. Следующие затем приборы также

Рис 219



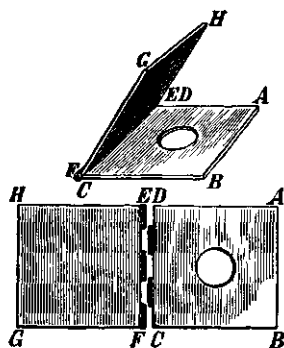
Перемежающийся прудъ.



не имеюи клапанов. Только в дальнейших отделах сочинения появлялся такие приборы и клапан упоминается тогда, как нечто известное из предшествующихъ отделовъ.

Это напоминает общеупотребительный прием греческихъ математиков начинать с простых вещей, которыя сами по себѣ образуютъ нечто целое, и затемъ

Рис 220.



Клапанъ

уже переходить к предметамъ, составленным из этихъ простых. Это описание Герона показываетъ, во всяком случае, что он разсматриваетъ клапан не какъ приборъ, составляющій принадлежность пожарнаго насоса, а какъ приборъ, имеющій общее приложение, когда нужно ввести давлениемъ воздухъ или воду в сосудъ или закрыть ихъ тамъ.

Клапаны, которые употребляются и теперь в насосахъ и т. п., имеютъ в существенномъ то же устройство; только неподвижная часть *ABCD* обыкновенно состоит изъ простого куска железа или дерева съ отверстиемъ, а подвижная часть *EFGH* состоит изъ куска кожи, укрепленного с одной стороны. Чтобы движение кожаной клапана происходило правильное, его

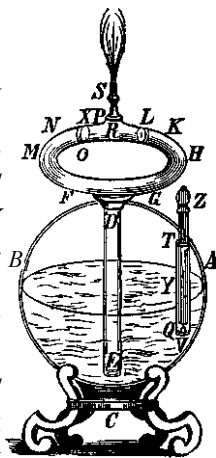
часто покрываютъ сверху и снизу деревяннымъ или металлическимъ кружкомъ, такъ что закрываетъ собственно только кожа по краямъ, непокрытая нижнимъ кускомъ металла или дерева (ср. рис. 226 и 227).

217. Из сочинения Герона не видно, чтобы в его время было известно понятие „крана“. Правда, Герон в несколькихъ местахъ описываетъ нечто такое, что можно считать краномъ, но эти описания в различныхъ приборахъ различны. Можно отметить здесь, как Ияжело переходить от многихъ отдельныхъ приспособлений, служащихъ для одной и той же цели, к одному общему представлению и общимъ обозначениямъ, если даже такой математикъ, как Геронъ, не имеетъ еще одного

общего наименования для крана. Теперь мы привыкли считать кран особым приспособлением даже и тогда, когда он составляет часть сложной машины. В следующем приборе мы находим приспособление, действие которого гораздо проще мог бы выполнить крань.

218. Герон описывает полый шарь, из которого вода может выбрасываться на большую высоту, пока шар совершенно не опорожнится. Крепкий шарь *AB* (рис 221) на подставке *C* имеет вверху отверстие. В это отверстие впаяна трубка *DE*, доходящая почти до самого дна. Вверху она разветвляется в трубки *GHL* и *FMX*, которые оканчиваются в *L* и *X* узкими ОТ-Рис 221

верстиями. Между этими концами вделана трубка *XRL* с боковой трубкой *RS*. Эта трубка также имеет по одному маленькому отверстию на каждом конце, которое приходится на соответственные отверстия первой трубки, когда *RS* направлена вверх, но не приходится на последние отверстия, а закрывает их, когда трубка *XRL* обращена концом *RS* вниз. Кроме того, в этот шар наглухо впаяна трубка *TV*. Внизу она закрывается клапаном, открывающимся внутрь тара. В трубку *TV* может вдвигаться, не пропуская воды, стержень *Z*. Сначала наливают в шар воду сквозь трубку *TV*, направив *RS* вверх для того, чтобы воздух, место которого занимает вода, мог выходить наружу. Затем *RS* поворачивают вниз, чем закрывают отверстия в *X* и *L*, и вдвигают сверху стержень *Z* в трубку *TV*. Благодаря этому вода вдавливается сквозь клапан в шарь. Если затем снова Геронов шарь потянуть стержень *Z* вверх, то вода не последует за ним,



так как ее задержит клапань. Но воздух в шаре занимает теперь меньше, чем свое „естественное" пространство (§ 209), и потому давит на воду. Налив несколько раз в трубку *TV* воды и введя эту воду внутрь, повертывают трубку *XRL* концом *RS* вверх. Воздух внутри шара давит на воду и выбрасывает ее в отверстие *B*".

Из таких описаний можно заключить, что во времена Герона уже были хорошие работники по металлу. С другой стороны интересно также заметить, как упростился этот прибор с течением времени. При той склянке, которая так часто употребляется в химических лабораториях (рис. 222), металлический шарь заменен стеклянным сосудом, одна из двух впаянных металлических трубок — стеклянной трубкой *df*, проходящей сквозь пробку, стержень *Z* человеческими легкими, а трубка с разветвлениями и узеньким кончиком — просто загнутой и оттянутой стеклянной трубкой *ab*. Можно было бы также приделать кран к трубке, из которой вытекает вода, но это лишнее. Если нужно прекратить истечение воды, то просто перестают дуть воздух.

Еще проще этой склянкой так называемый Геронов шар с одной только трубкой (рис. 223), сквозь которую сначала вдувается воздух и из которой затем вода выбрасывается сжатым воздухом. Если нужно остановить истечение воды, то отверстие стеклянной трубки просто закрывают пальцем.

219. Пожарный насос описывается Героном приблизительно в следующем

виде. Два цилиндра AD и EH (рис. 224), хорошо отполированные изнутри и снабженные плотно входящими поршнями K и M , соединены трубкой PR . Эти цилиндры находятся на подставке, помещенной в воде. Вода через клапаны может входить в цилиндры, но не может выходить из них. Кроме того, на каждомъ

Рис 222

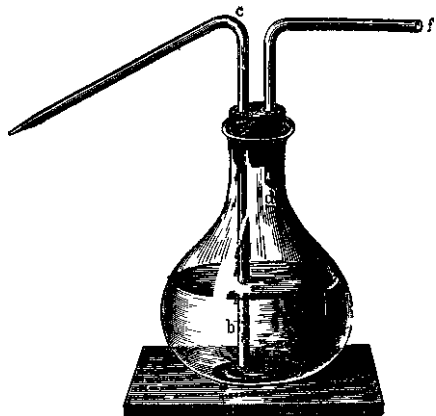
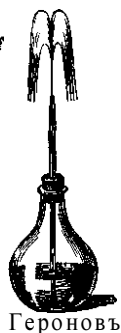


Рис 223



Героновъ

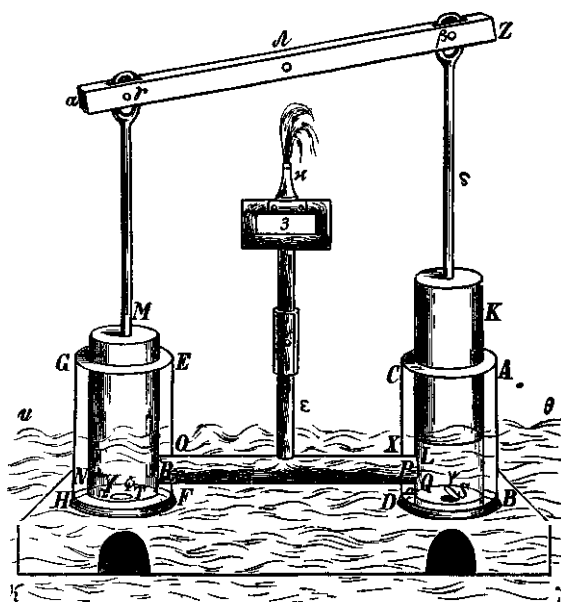
шаръ съ
одной труб-
кой.

Лабораторный сосуд для наливанья воды

конце трубки PR находится клапанъ,

благодаря которому вода может входить изъ цилиндра в трубку, но не может выходить из трубки в цилиндръ. От сере-

Рис 224



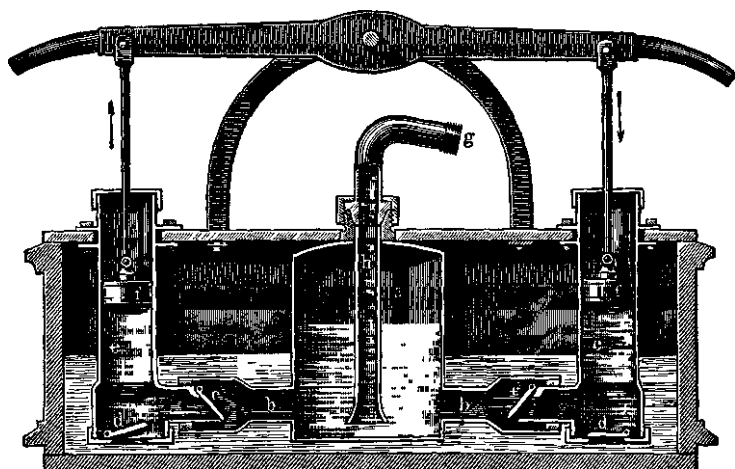
Пожарный насос Герона

дины трубки PR подымается вверх другая трубка, которая оканчивается, как и трубка на рис. 221, разветвлением и узким наконечникомъ. Стержни поршней

вверху прикреплены къ поперечному стержню, который качается около своей середины, как коромысло весовъ, и движение которого попеременно подымает и опускает поршни в цилиндрахъ. Когда поршень подымается, вода через клапан на дне всиупает в цилиндръ. Когда поршень опускается, вода вдавливается сквозь боковой клапан в трубку *PR* и в трубку с разветвлениями и наконечникомъ, которая идет вверхъ. Так как Герон указывает на рисунок 221, не повторяя описания наново, ТО, может быть, он уже и здесь умел пристраивать резервуар со сжатым воздухом для равномерного истечения воды.

Как мало изменился пожарный насос с течением времени, видно из изображения насоса, рис. 225, как он устраивается теперь. Мы находим здесь те же существенныя части и даже въ таком же расположении: два цилиндра с порш-

Рис. 225



Современный пожарный насосъ

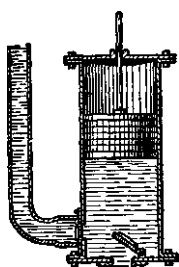
нями, приводимые в движение рычагомъ, клапаны у дна и боковую трубку с клапанами. Воздушный резервуар *а*, из которого сжатый воздух выбрасывает воду наружу, отсутствует на рисунке Герона, хотя возможно, что в самом насосе он былъ. Относительно наконечника Герон замечаетъ, что он должен быть устроен такъ, чтобы ею можно было направлять ВО все стороны. Поэтому выдающаяся часть его должна иметь форму *Г* (греческой буквы „Гамма“) и должна вращаться около нижней внутренней неподвижной части трубки. В этом отношении современный насосъ усовершенствован еще больше, так как рукавъ, навинчивающийся у *г* (рис 225), имеет еще более свободное движение.

220. В пожарном насосе мы имеем уже и нагнетательный насосъ. Это тот же аппаратъ, служащий только для другой цели; а именно, он не выбрасывает воду сквозь короткую и узкую трубку, а вдавливает ее в длинную подъемную трубку. Для этой цели пользуются обыкновенно одним цилиндромъ, такъ что аппарат очень простъ, как показывает рис. 226. Цилиндр имеет в дне клапан над трубкой, которая всасывает воду, и боковой клапан в подъемной трубке. Когда поршень подымается, вода по всасывающей трубке вступает черезъ

донный клапан в цилиндръ, так как в цилиндре не может образоваться безвоздушное пространство. Когда поршень движется внизъ, последний клапан захлопывается и вода вытесняется через боковой клапан в подъемную трубку. Последняя часто снабжается воздушным резервуаромъ, как пожарный насосъ; благодаря этому, действие движения поршня в подъемной трубке ослабляется и вода подымается вверх более равномерно.

221. Коида и как развился всасывающий насосъ, неизвестно. На рис 227 изображен такой насосъ, сделанный из дерева. Теперь эти насосы часто делаются

из железа Рис 226 Всасывающая трубка *a* закрыта внизу сеткой, не позволяющей твердым телам попадать в насосъ. Верхний конец всасывающей трубки закрывается



клапаномъ, который открывается вверхъ В то же время он является донным клапаном для более тщательно сработанной части насоса, в которой происходит движение поршня Самый поршень также просверлен и наверху на нем находится клапанъ, открывающийся вверхъ. Когда поршень подымается (гири опускании рукоятки), то под ним не образуется безвоздушное пространство, а вода подымается въ трубку с поршнем сквозь всасывающую трубку и донный клапанъ. Когда поршень опускается, то вода проходит сквозь него в верхнюю часть цилиндра С каждым движениемъ поршня, таким образомъ, над ним собирается все больше воды и, когда она достигаетъ достаточной высоты, она начинает выливаться из боковой трубки. Пока в помпе нет воды,

Нагнетательный насосъ клапаны и поршень не закрываются вполне и потому въ помпу перед началом работы вливают немного воды.

222. В то самое время, когда Стевинъ и Галилей снова брались за гидростатику, в Европе в течение нескольких летъ появился целый ряд переводовъ сочинений Герона частью на латинский языкъ, частью на другие европейские языки. Некоторые изъ этихъ переводовъ содержатъ большія или меньшія добавления, в которыхъ ообщаются позднейшія изобретения Обыкновенно в этихъ книгахъ преследуются практическія цели, так что в этомъ возрождении Герона проявляется стремление заставить силы природы работать на пользу человека. В то время, какъ водяные часы развивались у арабовъ и у европейцевъ в настоящія создания искусства, все больше и больше начинали пользоваться естественным падениемъ воды для того, чтобы приводить в движение большія машины и производить более значительныя работы. На рис. 228, 229, 230, 232 и 233 изображены примеры изъ этихъ добавленийъ к переводамъ Герона. Рис. 228 показываетъ, какъ при помощи нагнетательныхъ насосовъ вода подымается на „башню любой высоты". Поршни движутся посредствомъ четырехъ ломанныхъ коленчатыхъ валовъ, изображенныхъ на рисунке отдельно слева. Ось, на которой находятся эти валы, приводится въ движение подливнымъ и наливнымъ водяными колесами. Очевидно, рисунокъ долженъ былъ изобразить оба рода водяныхъ колесъ.

В „добавленияхъ" описывается много двигателей (моторовъ), т. е. машинъ,

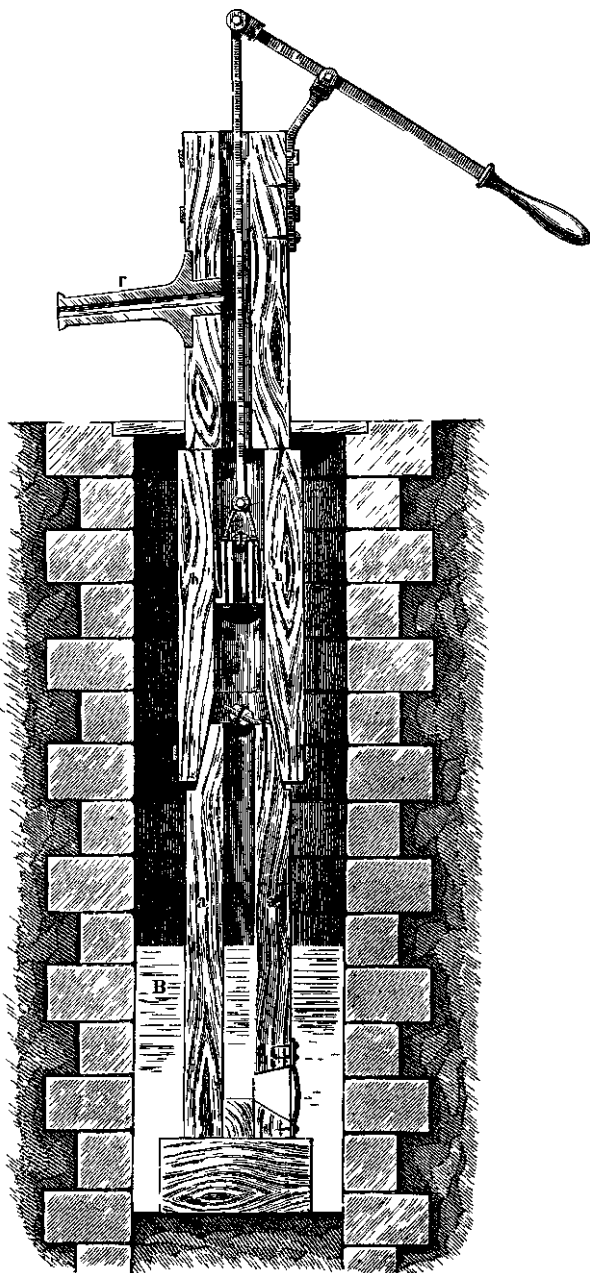
дающих движущую силу, а также много рабочих машинъ, т. е. машинъ, которыя переводят движение в работу.

Рис. 229 показывает водяное колесо, которое при каждом своем обороте при помощи насаженного на вал зуба *С*, подымает лот *Е*. Этой молотъ,

освободясь, падает всей своей тяжестью на кусок железа, который кузнец кладет на наковальню. Вероятно, подливное водяное колесо древнее всех других водяныхъ колесъ. Оно употреблялось, повидимому, на Тибре возле Рима в VI веке по Р. Х В этом колесе погруженные в струю воды лопатки приводятся в движение течением реки.

223 Встречаются иногда также описания и иныхъ двигателей, помимо водяныхъ. Такъ, в добавлениях можно найти ступальныя мельницы, которыя приводятся в движение людьми или животными Рис. 230 представляет ступальную мельницу, которая приводится в движение человеком и заставляет двигаться мукомольню. Можно также найти изображения ступальной мельницы с лошадыю, а также конного привода Последний, однако, не представляет ничего новаго, как видно из рис. 231, изображающую размол зерна в древнем Риме.

224. „Добавления" сообщают далее, что в техъ странахъ, где нет водяныхъ потоков с достаточнымъ уклономъ, пользовались также силой ветра. Последнее

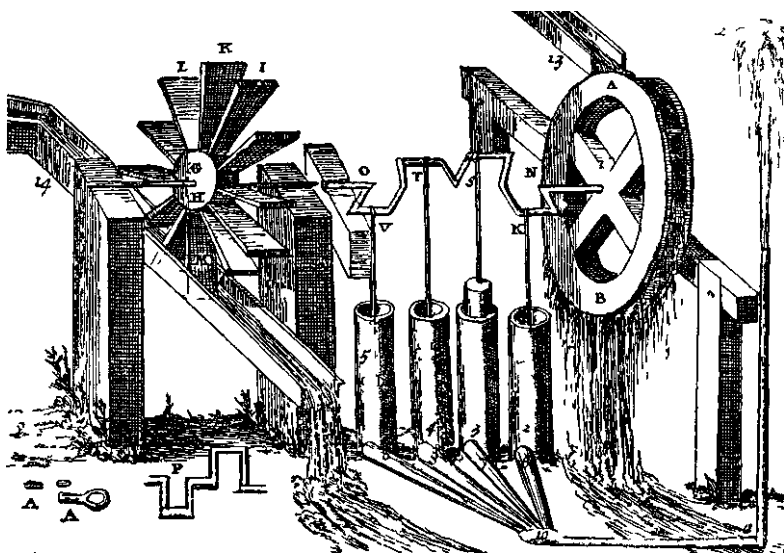


Всасывающий насосъ

относится также к азиатским странам (Персия), где, вероятно, и зародилась ветряная мельница. Отсюда она перешла к арабамъ.

Вашингтон Ирвинг сообщает об этом в своей истории калифовъ следующее: „В числе персовъ, приведенных в рабство в Медину, находился один человекъ, по имени Фирусъ, принадлежавший к секте магов или огнепоклонниковъ. Получив от своего господина приказ отдавать из своего ежедневного заработка две серебряныя монеты господину, он обратился с жалобой на это к Омару. Калиф спросил о его занятиях и, узнавъ, что он был плотникъ,

Рис. 228



Насосы, приводимые в движение водяными колесами.

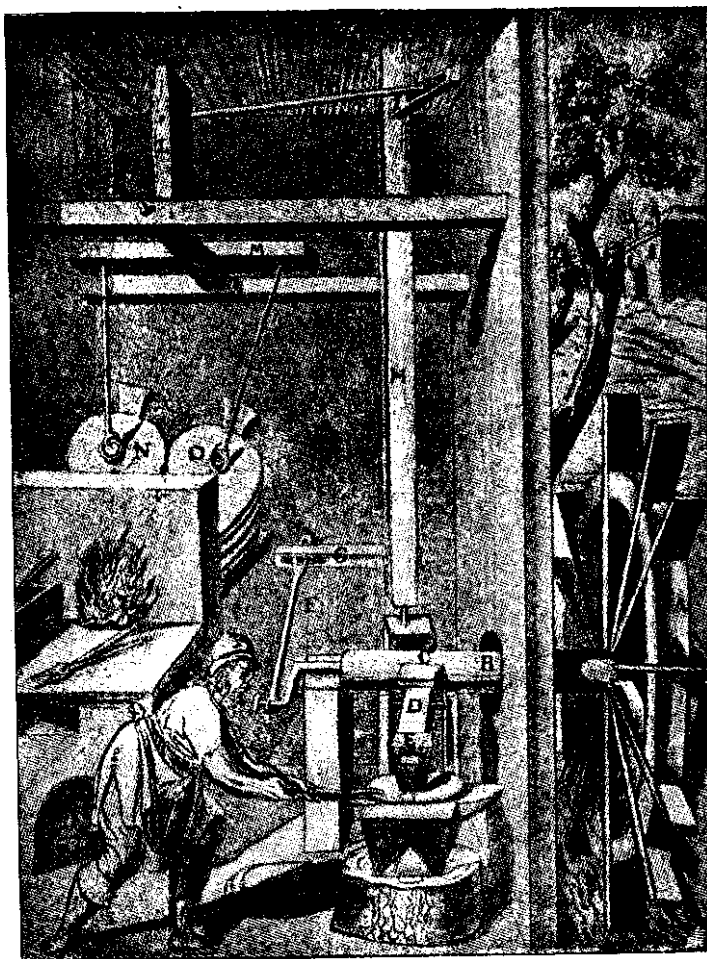
искусный в постройке ветряных мельницъ, ответилъ, что человекъ, отличающийся в таком ремесле, может выплачивать две серебряных монеты совершенно свободно. Разъяренный этим приговоромъ, Фирус двумя днями позже убил калифа в мечети. Это произошло на 23 году Геджры или в 644 году по Р. Х".

Во время крестовых походов европейцы познакомились с ветряной мельницей и имеются определенные указания, что она была известна во Франции в 1105 году, а в Англии в 1143 году. Но, вероятно, еще много лет она принадлежала к величайшим редкостямъ, так как известно, что некий Бартоломео Верде рекомендовал венецианцам построить ветряную мельницу в 1332 году и что ветряная мельница была построена в Шпейере в 1393 году. Но с возобновлением изученш Герона началось движение и здесь. Сначала надо было сделать мельницу вращающейся соответственно направлению ветра. Так называемыя мельницы на козлахъ, рис. 232, могут вращаться около вертикальной стойки. „Голландская" ветряная мельница изобретена, повидимому, во Фландрии около 1650 г. В этой мельнице поворачивается к ветру только крыша и крылья, остальная же часть мельницы остается неподвижной. Мельница, изображенная на рис. 233, приводит в движение особую помпу (так называемую четковую помпу, Paternoster) Безконечная веревка

усажена шарами на равных расстояниях. Эта веревка огибает два колеса, из которых на рисунке видно только верхнее. Нижнее колесо, невидимое на рисунке, находится в воде. Верхнее колесо приводится мельницей во вращение и часть веревки, идущая вверх, движется внутри гладкой трубы. Диаметр этой трубы только немного больше диаметра шаров и при сколько-нибудь быстром движении веревки вода увлекается шарами вверх.

Эти и многие другие добавления к Герону, очевидно, обозначают собою раз-

Рис. 229



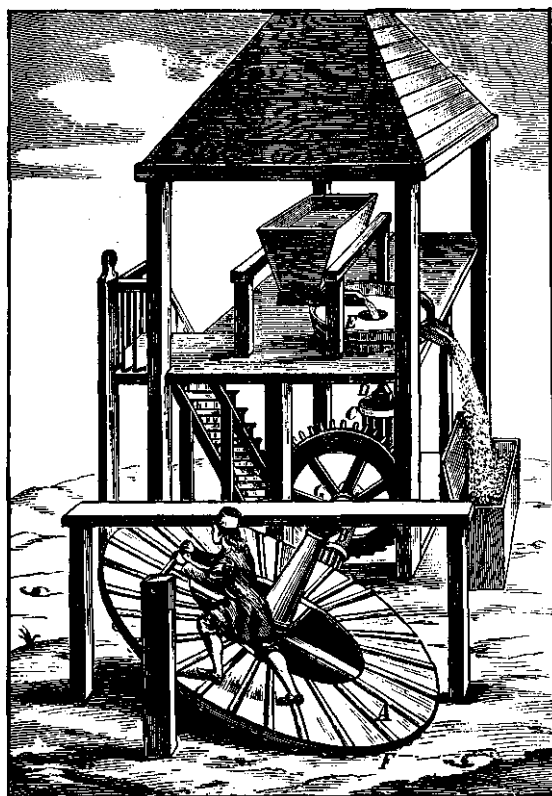
Молотовая мельница.

витие машин и двигателей вообще. В этом развитии играл роль и Соломон де Ко, о котором будет речь ниже. Он также старался применить на практике указания Герона относительно действия теплоты на пары. Мы встречаем его, таким образом, в ряду людей, занимавшихся приложениями силы пара. Но прошло

много летъ, прежде чем паровая машина стала на ту же высоту, что и названные двигатели, и, наконецъ, далеко превзошла ихъ.

225 Ремесла существовали, конечно, задолго до эпохи Возрождения. Что въ древности были превосходные ремесленники", показывают сохранившиеся остатки ихъ деятельности в Египте, Помпеях и другихъ местахъ. Равнымъ образом давно существовали и некоторые двигатели, напримеръ, конный приводъ, водяное колесо и ветряная мельница. Но удивительно, как усердно занимались в XVI и XVII векахъ описаниемъ этихъ практическихъ приспособлений (двигателей и рабочихъ машинъ) въ

Рис. 230



Ступальная мельница.

добавленияхъ к сочинению математика и физика Герона, хотя многия из них не имели никакого отношения к этому сочинению. В то время как бы чувствовалась потребность привести в связь с наукой всю начинавшую развиваться технику и одновременно засвидетельствовать свое отношение к науке, как к руководительнице. С этого времени теория и практика постоянно находились в плодотворной связи друг с другомъ, Наука извлекала для себя пользу из опытовъ промышленников и инженеровъ, а успехи науки часто находили быстрое приложение на практике, после того как люди практики поняли, что завоевания науки имеютъ часто огромное практическое значение, хотя бы даже они казались иногда совсем ничтож-

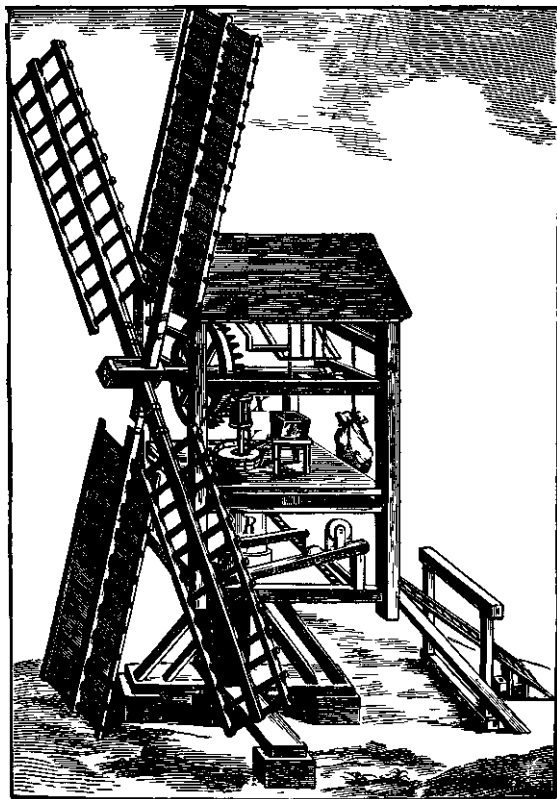
ными. Это взаимодействие привело к значительным результатам. Те 200 или 300 летъ, которыя протекли с того времени, кажутся коротким промежутком време-

Рис 231



Мукомольня в древнем Риме.

Рис 232



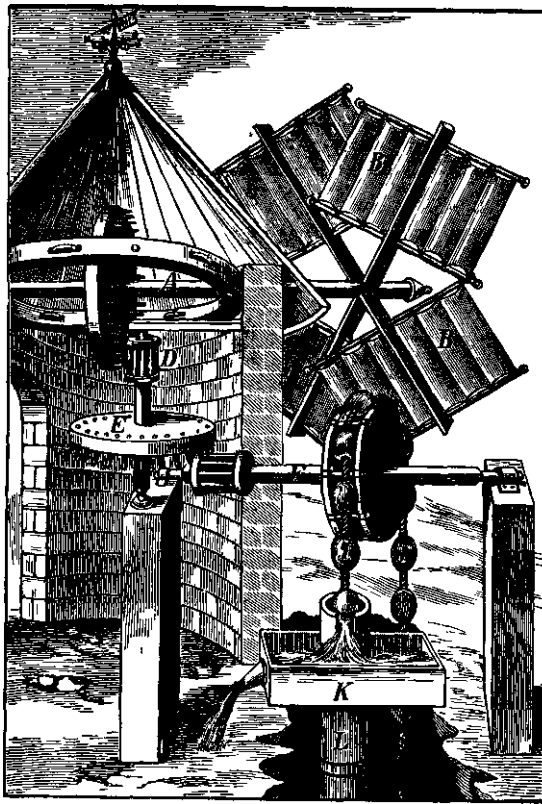
Мельница на козлахъ.

ни, если сравнить успехи в познании и покорении природы, сделанные за это время, с темъ, что дали предшествующия тысячелетия.

226. Вместе с постоянным расширением приложения силы воды естественно возник вопрос о величине полезного действш, что необходимо приводило к ясному определению понятия работы. Каждый фунт воды, могущий упасть на величину одного фута, имеет способность произвести работу, которую назвали фунтофутомъ. При счете Ираммами и метрами за единицу работы принимается килограмметръ.

Если водяной поток доставляет в секунду 1200 литров воды, которая падает на водяное колесо с высоты 2 м, то эта струя производит работу в 2400

Рис. 233



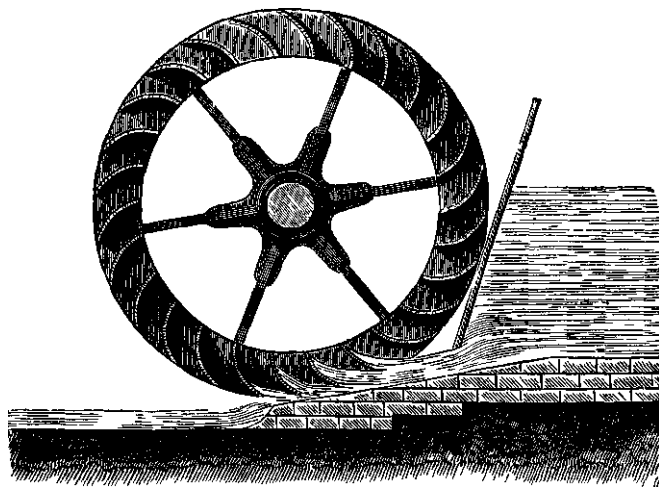
Голландская ветряная мельница

килограмметров в секунду. Ни одна водяная мельница не может дать полного полезного действия. Действительное полезное действие обыкновенно дают в процентах работоспособности, как она определяется массой воды и высотой падения.

Для возможного повышения полезного действия жолобу, который приводит воду к лопаткам колеса, дают такую форму, чтобы он прилегал к колесу возможно плотнее. Однако, избежать потери значительного количества работоспособности нельзя отчасти вследствие удара о лопатки, отчасти потому, что колесо не

может прилегать к жолобу совершенно плотно, главным же образом потому, что отработавшая вода стекает с колеса с значительной скоростью и, значит,

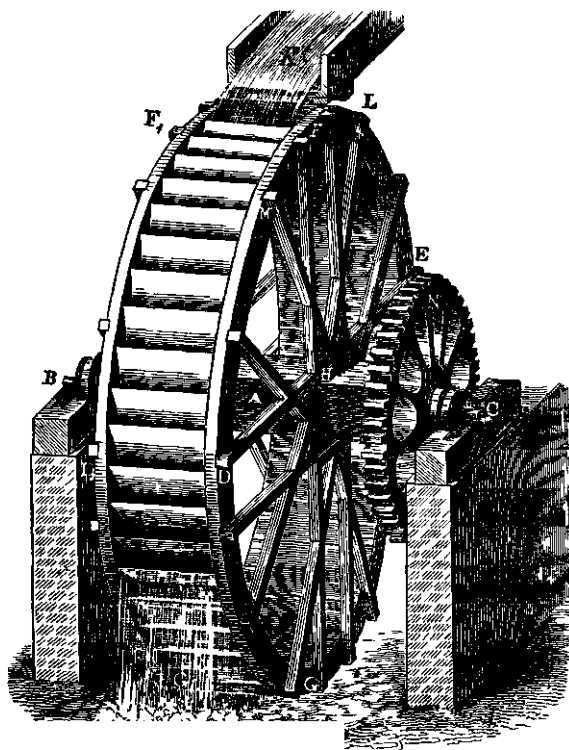
Рис. 234



Колесо Понселе.

обладаи еще большой энергией (% 182), которая для мельницы пропадает. Наи-

Рис. 235



Наливное водяное колесо.

лучшее подливное колесо, предложенное Понселе, рис. 234, (французский математик, 1788 — 1867), дает приблизительно 55% полезного действия.

Несколько благоприятнее условия наливного колеса. Его можно построить так, что его окружность будет состоять из большого числа водяных камер. Вода попадает из жолоба в эти камеры и давит своим весом на одну сторону колеса. Но и здесь часть работоспособности воды пропадает, так что в наилучшем случае получается 83% полезного действия (рис. 235).

227. При использовании силы ветра дело состоит в том, чтобы передать на крылья мельницы, а от последних на ось, часть той энергии, которую обладают частицы движущегося воздуха, благодаря своей скорости.

Задолго до того, как стала известна ветряная мельница, ветромъ, как двигателемъ, пользовались на парусных судахъ. Чтобы понять это действие, нужно обратиться к предложению о параллелограмме сил (§ 176). Пусть ab (рис. 236) будет парус (вид сверху) и пусть Og представляет давление ветра на парус по величине и по направлению. Это давление можно разложить на составляющия os и od .

Рис. 236

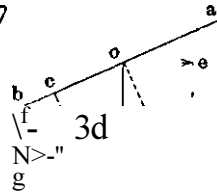
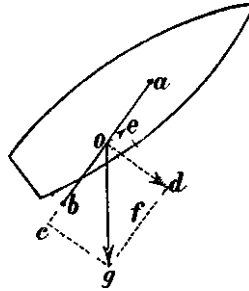


Рис. 237

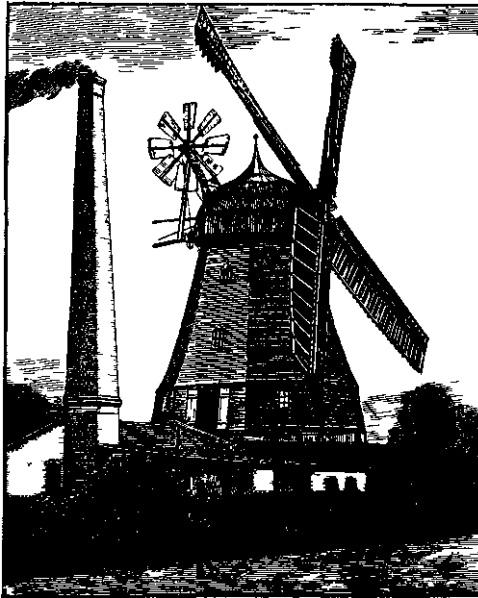
Действие
ветра на крылья
Действие ветра на парусъ.

Только последняя составляющая производит давление на парусъ, а, следовательно, на судно, на котором укреплен парусъ. Сила od разлагается еще раз на две составляющихъ, из которых одна, oe , идет по направлению длины корабля, а дру-

гая, of , перпендикулярна к ней.

238

Первая гонит судно вперед, вто-



рая—в сторону, но немного, так как по всей своей конструкции судно может двигаться в воде боком только с трудомъ. Как видно из рис 236, судно может идти вперед и по косому направлению относительно ветра.

Подобным же образом объясняется действие ветра на крылья ветряной мельницы. Если на рис. 237 Og представляет направление и величину ветра и в то же время направление оси крыльев ветряной мельницы, то Og разлагается на os (недействительное) и на od , а последняя снова разлагается на of и oe . Последняя составляющая и приводит крылья в

движение.

На самом деле Ветряная мельница.

дело обсто-

ит не так просто ни с парусным судномъ, ни съ ветряной мельницей. Действие движущагося воздуха — увеличение давления с одной стороны и уменьшение его с другой — очень слож-

НО. Объяснение, приведенное выше, может дать общее понятие об этих явлениях, НО, собственно, эти отношения требуют гораздо более основательной разработки или же приходится довольствоваться эмпирическими измерениями этих действий. Давление на поверхность $a b$ (рис. 237) вовсе не равно $o d$ и, кроме того, воздушный поток на другую сторону $a b$, где ветер разрезает воздух, производит всасывающее действие; это всасывание тянет крылья вперед.

На рис. 238 изображена современная ветряная мельница. Небольшое ветряное колесо на крыше должно поворачивать эту крышу так, чтобы крылья всегда становились к ветру правильно. Оно движется в ту или другую сторону, смотря по тому, с какой стороны действует на него ветер. Его ось при помощи зубчатых колес соединяется с механизмом, который двигает крышу мельницы в ту или другую сторону соответственно направлению ветра. Поверхности крыльев состоят из жалюзи. Каждая из последних при помощи особого рычага может открываться и закрываться. Все эти маленькие рычаги соединены с большим стержнем, который, в свою очередь, соединяется с особой тягой. Последняя проходит сквозь дыру вала колеса. Груз, действующий на главную тягу, заставляет жалюзи закрываться, а ветер заставляет их открываться. Таким образом, когда ветер силен, то он откроет жалюзи, больше или меньше. Благодаря этому же приспособлению, ветер не может оказывать также слишком сильного действия на мельницу.

Воздушный океань

228. Когда Герон говорит (§ 209), что воздух есть тело, которое мешать, например, воде войти в сосуд, если сам воздух не имеет выхода, то это не представляет совершенной новости; Герон и не выдает этого за новость, а говорит, что между различными воззрениями, которые можно себе составить на этот счет, он считает справедливым именно это. В то время вообще думали так же мало, как и теперь, о том, что свистящий звук, производимый в воздухе быстро-движущейся палкой, уже доказывает, что воздух есть тело и что подчеркнутые Героном явления также доказывают это. Мы движемся в воздухе, мы простираем в воздухе руки и двигаем в нем предметы, совершенно не думая о существовании воздуха. Только при особых обстоятельствах, например, когда буря грозит опрокинуть нас или когда сжатый в воздушном огне воздух с шумом выбрасывает поршень, мы мимоходом отдаем немного внимания воздуху.

Этот вопрос обсуждали многие греческие философы и Аристотелю казалось даже, что он доказал существование веса воздуха на опыте. Именно, он взвешивал пузырь сначала пустой, а затем раздутый, следовательно, наполненный воздухом, и нашел, что в последнем состоянии он весил больше, чем в первом. Но это, может быть, происходило от ошибки взвешивания, так как пустой и надутый пузырь вообще должны показывать на весах одинаковый вес. Конечно, воздух имеет вес, так что наполненный воздухом пузырь тяжелее пустого, но нужно думать, что взвешивание производилось в воздухе, а здесь должно было иметь место то же, что и при взвешивании в воде: тело теряет в своем весе столько, сколько весит вытесняемый им воздух. Но так как воздух, содержащийся в надутым пузыре, весит почти как раз столько же, сколько и воздух, вытесняемый пузырьем, то едва ли может обнаружиться разница между пустым пузы-

рем и пузыремъ, наполненным воздухомъ. Впрочемъ, возможно также, что в опыте, который производил Аристотель, воздух в пузыре был несколько сжат и потому имел несколько больший весъ, чем воздухъ, вытесняемый надутым пузыремъ. Во всяком случае, Герон указаль" хорошия основания считать воздух теломъ и опытъ, произведенный Аристотелемъ, повидимому, подтверждал это.

229. Галилей первый действительно доказаль, при помощи взвешивания, что воздух имеет весъ. Для этого опыта он пользовался не пузыремъ, а бутылкой, следовательно, сосудомъ, который всегда имеет один и тот же объемъ, независимо от того, наполнен ли он воздухом или нетъ. Поэтому сила, поднимающая его в воздухе вверхъ, остается в обоих случаях одна и та же, тогда какъ вес содержимого изменяется.

Галилей сжимал воздух в бутылке и нашель, что она от этого делалась тяжелее. Взвесив ту же самую бутылку, наполненную водой, он нашель, что вода весит в 400 раз больше, нежели воздухъ. Это число, быть можетъ, и верно, но оно не имеет никакой цены, так как в одной и той же бутылке можно сжать очень различныя количества воздуха. Галилей предлагает еще другой способъ, а именно, сначала взвесить бутылку с обыкновенным (не сжатым воздухомъ), а затем выгнать воздух из бутылки посредством нагревания. Этот метод взвешивания „обыкновеннаго" воздуха был бы хорошъ, еслибы действительно нагреванием можно было выгнать воздух совершенно. Однако, это невозможно, а во времена Галилея других средств для удаления воздуха не знали.

230. Здесь нужно упомянуть о другом изследовании Галилея, касающемся, правда, совершенно другой области, но стоящем в известной связи с указанными взвешиваниями, хотя Галилей и не замечал существования такой связи.

Между прочимъ, Галилей изучал твердость тел и изследоваль, какая сила нужна, чтобы разломать или разрушить- тело. Ему, правда, не удалось разобраться в этих соотношениях столь же совершенным образомъ, как в явлениях движения, но он все же сделал нѣсколько правильных наблюдений, какъ, напримеръ, то, что полая внутри балка имеет большую крепость, чем массивная балка того же веса и такой же длины. Он указывает при этом на целесообразность того, что кости, перья птиц и многие стебли растений внутри пусты. Далее он говорить, что две балки одинакового вещества и одинакового поперечного сечения, но различной длины выносить свою тяжесть не одинаково и что можно себе представить такую балку, которая не вынесет собственной тяжести, а сломается под своим весомъ. Потому то для величины зверей существует пределъ, за которым они ломались бы от своего собственного веса, и наиболее крупныя животныя находятся в море, в котором тяжесть уменьшается весом вытесняемой воды. Таким же образомъ, прибавляет Галилей, металлическая проволока, повешенная на одном конце, может быть такой длинной и, значить, такой тяжелой, что разорвется сама по себе.

231. По мнению Галилея эти явления стояли в связи с одним наблюдениемъ, которое было сделано во Флоренции над действием выкачивающих насосовъ. При помощи таких насосов хотели было поднять воду на значительную высоту, но помпы отказывались действовать. Приглашенный на совет Галилей изследовал насосы и нашель, что они в порядке, но что они не поднимают воды вы-

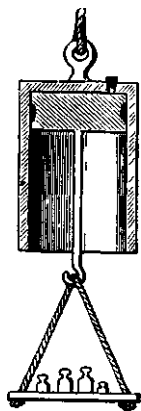
ше, чем на 18 итальянских локтей (приблизительно 10 м). Аристотель и за ним Герон придерживались взгляда, что пустота невозможна, и Аристотель выразился, что природа боится пустоты. Во времена Галилея выражение „боязнь пустоты" (*horror vacui*), как и многие другие Аристотелевские выражения, напоминающие о человеческих ощущениях и мыслях, было во всеобщем употреблении и физикам XVI и XVII веков стоило немалого труда отделаться от них.

Герон выразился по этому вопросу несколько объективнее — он просто говорит, что в действительности пустое пространство не может существовать, так как его будут заполнять частицы окружающих телъ.

Галилей на место „боязни" пустого пространства поставил более удобное в физике выражение: „сопротивление" пустоте. При этом он думает о чем-то вроде сопротивления упомянутой выше металлической проволоки своему разрыву. Это сопротивление может быть преодолено и в столбе воды, отделяющемся от поршня насоса, Галилей и видит аналогичное явление: столб воды становится таким тяжелым, что разрывается от своего собственного веса. Это, конечно, должно зависеть только от длины, а не от ширины столба совершенно так же, как медная проволока определенной длины разрывается независимо от своей толщины.

Но следовало бы ожидать, что оторвавшийся столб воды должен совершенно упасть. Во всяком случае с медной проволокой дело происходит именно так. Но так как этого нет, то Галилей думал, что это „сопротивление пустоте" имеет определенную величину, и так как висящий столб воды может служить мерою величины этого сопротивления, то он старался измерить его чисто механическим приспособлением. Был взят цилиндр, подвешенный дном вверх (рис. 239). В цилиндр входил герметически пригнанный поршень, стержень которого оканчивался крючкомъ. На этот крючок вешалась чашка с разновеска-

Рис. 239 ми. Галилей был уже очень старъ, когда начал заниматься этимъ



вопросомъ, и только Торричелли удалось впервые вполне выяснить его.

232. Эвангелиста Торричелли родился в 1608г. в Фанце. В Риме он посвятил себя изучению математики. Его учителем был Бенедетто Кастелли, бенедектинец из Монтекассина, который помогал Галилею, в дни его молодости, в астрономических наблюдениях. Кастелли наизусть, например, что можно наблюдать изображение солнца и солнечных пятен, отбросив изображение солнца, образуемое объективом зрительной трубы, на белую поверхность (ср. § 102). Позднее Кастелли выдвинулся превосходными статьями о движении воды и при папе Урбане VIII был сделан заведывающим большими водопроводными сооружениями в Риме. В 1641 г. на пути в Венецию он посетил Галилея в

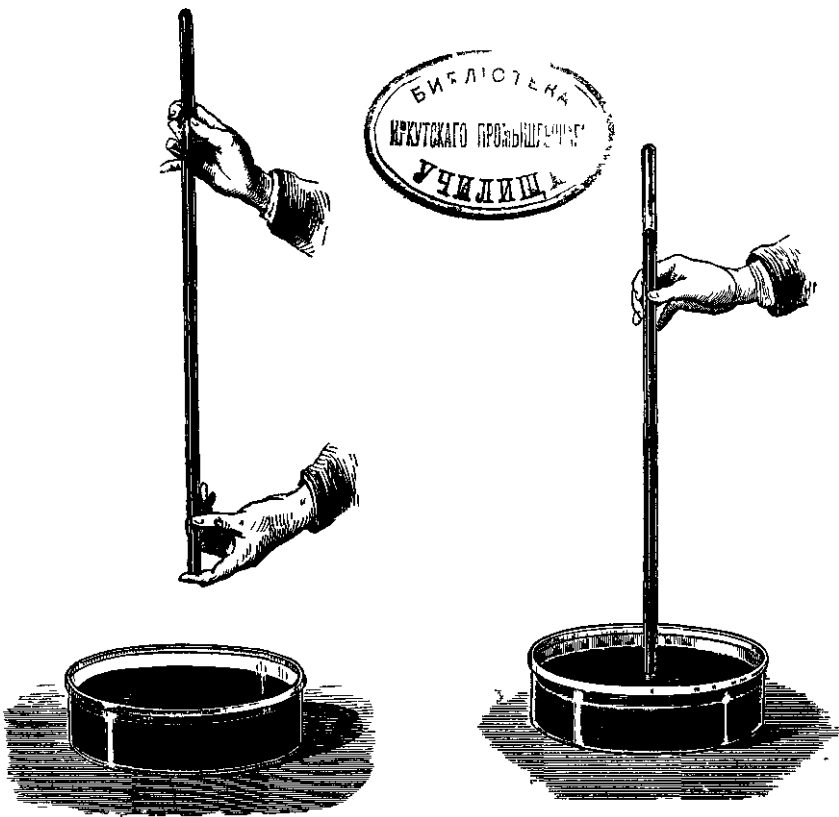
Галилеево Арчетри близ Флоренции и между прочим рассказывал ему о измерении сопротивления пустоте.

лodomъ Торричелли. который занимался учением Галилея о движении и разрабатывал его дальше. Следствием этого было то, что

Торричелли приехал в Арчетри, жил здесь с Галилеем несколько месяцев до его смерти и в это время записывал сообщения Галилея о его различных работах (§ 145).

233. По смерти Галилея Торричелли хотел вернуться в Римъ, но великий герцог Тосканский назначил его на то место, которое до него занимал Галилей. Это побудило Торричелли взяться за дальнейшую разработку различных вопросов, затронутых Галилеемъ. Между прочимъ, он снова взялся за вопрос о поднятии воды в пустой трубке. Он понял, что для разъяснения этого вопроса было бы полезно заменить длинную непрозрачную трубу насоса стеклянной трубкой, а воду ртутью. Эту мысль он сообщил своему другу Вивiani, который произвел тогда следующий опыт. Он взял стеклянную трубку величиною приблизительно в 1 м, на одном конце запаянную, наполнил ее доверху ртутью, закрыл отверстие пальцемъ, перевернул трубку и погрузил ее отверстие в сосуд с ртутью. Когда он затем отнял палецъ, ртуть упала, но лишь настолько, что въ

Рис. 240



Опыт Торричелли.

трубке остался столб ртути, высота которого равнялась приблизительно $\frac{7}{14}$ высоты столба воды в насосах. Но ртуть в четырнадцать раз тяжелее воды. Этим подтвердилось предположение Торричелли, что весь столб жидкости в обоих случаях должен быть один и тот же. Таким образом, настоящее явление не было сходно с разрывом металлической проволоки под влиянием ее веса, так как въ последнем случае должен играть роль не только весъ, но и крепость металла. Но предположение Галилея, что природа противопоставляет образованию пустого про-

странства известное сопротивление, не было опровергнуто опытом Торричелли. Это сопротивление было теперь только измерено новым способом, а, именно, весом столба ртути.

234. Но теперь Торричелли напал на гениальную мысль, бесконечно далекую от ученых того времени, а именно, что причиной подъема воды или ртути является не внутреннее сопротивление образованию пустого пространства, а внешнее давление, которое действует на воду в колодце и таким же образом^ на ртуть в сосуде; это давление должно быть одинаково в обоих случаях, так как оно подымает эти две жидкости на высоту, обратно пропорциональную их удельным весам (§ 205). Это давление, заключает дальше Торричелли, может быть, есть то, которое производит своим весом воздух. А что воздух имеет некоторый вес, было доказано уже Галилеем. И так как количество воздуха очень значительно—Торричелли считал высоту атмосферы равной 50 милям — то вполне мыслимо, что воздух производит такое же давление, как масса воды в 18 итальянских локтей (*10 м*) глубиною или море ртути глубиною в *760 мм*.

Повторяя наблюдения высоты ртутного столба, Торричелли скоро заметил, что она меняется, и тотчас же понял, что причина этого лежит в том, что воздушный океан не всегда имеет один и тот же вес в данном месте, но что давление на поверхности земли зависит от состояния атмосферы в данный момент, а именно, от температуры воздуха в данном месте. Он нашел далее, что этим прибором можно пользоваться для наблюдения за состоянием атмосферы и для указаний относительно погоды. Торричелли является изобретателем барометра — прибора, при помощи которого измеряют, как^ тяжел (по гречески [Зэро^) воздух.

Теперь на место старого воззрения, что мир всюду, где нет осязаемых предметов, наполнен воздухом, выступало новое воззрение, что воздух охватывает землю кругом со всех сторон, как море, притом такое глубокое или такое высокое, что оно покрывает самые высокие горные вершины, хотя в сравнении с величиной земного шара эта глубина довольно незначительна. Этим устранялась также трудность, которую представляло для Региомонтана и других (§ 61) мнение о движении земли, — они думали, что земля должна проходить сквозь воздух. Теперь было ясно, что воздушный океан земного шара уносится в пространство вместе с ним. Влияние этого нового представления было весьма значительно.

235. Барометр вскоре принял форму, изображенную на рис. 241, которую он, наряду с некоторыми другими более новыми формами (см. Метеорологию), сохранил до нынешнего дня. Длинное колено трубки сверху запаяно. Сосуд на конце короткого колена открыть, так что воздух может давить на ртуть. Столб ртути в закрытом колене (отмеряемый от уровня ртути в открытом колене) дает величину давления воздуха. Кроме известных указаний относительно погоды: „ясно, переменнo, буря" и т. д. на барометре имеется обыкновенно небольшая шкала, по которой можно отсчитывать высоту ртутного столба. На берегу моря средняя высота барометра составляет 28 парижских дюймов или *760 мм*.

236. Торричелли показал себя достойным учеником Галилея еще и в другом отношении. Он дал ценные исследования о зрительной трубе и микроскопе, рекомендовал в качестве довольно хороших^микроскопов"маленькие сте-

клянные шарики, а также занимался разработкой и развитием учения о равновесии и движении. Он нашёл, например, что если тела взаимно уравнивают друг друга, то небольшое движение их никогда не повышает и не понижает общего центра тяжести (невозможность *Perpetuum mobile*, приводимого в движение грузами). Затем он нашёл, что, если бросать тело с известной скоростью, но в различных направлениях, то все получающиеся параболические пути объёмлются также параболой (рис. 242).

237. Далее, Торричелли изучал истечение воды из сосуда; это изучение представляло в то время особый интерес в виду его значения для водяных часов. Здесь, между прочим, он нашёл следующий важный закон: когда жидкость вытекает из отверстия в сосуде, то её скорость в отверстии имеет как раз ту величину, какую имела бы эта жидкость при падении с высоты, равной расстоянию отверстия от поверхности жидкости, независимо от того, в каком направлении происходит истечение¹⁾. Это согласуется с открытым впоследствии законом, что энергия никогда не пропадает (§ 182). В самом деле, если бы нужно было снова поместить в сосуд вытекшую воду, то её надобно было бы поднять на высоту поверхности воды. Но это возможно для неё только при том условии, что она подымается вверх с той же скоростью, какую она приобрела бы, если бы падала с данной высоты. Потому же и струя фонтана, как справедливо замечает Торричелли, не может подняться выше уровня воды, питающей фонтан. В действительности, ввиду всегда существующих сопротивлений, струя никогда не достигает этой высоты.

Торричелли нашёл также, что вытекающая вода, совершенно так же, как другие брошенные тела, движется по параболе, и пользовался путём, который описывает струя, для определения быстроты истечения. Если разрешишь струю фонтана в массу отдельных капель, то каждая из этих капель; описывает параболу, причём более крутая или более плоская форма этой параболы будет соответствовать направлению, в котором капля отделяется от струи. Совокупность этих путей различной формы, но связанных определённым законом, производит приятное впечатление на наш глаз и проявляющаяся во всем этом явлении закономерность, без сомнения, представляет одну из главных причин того, что фонтан вызывает в нас чувство восхищения.

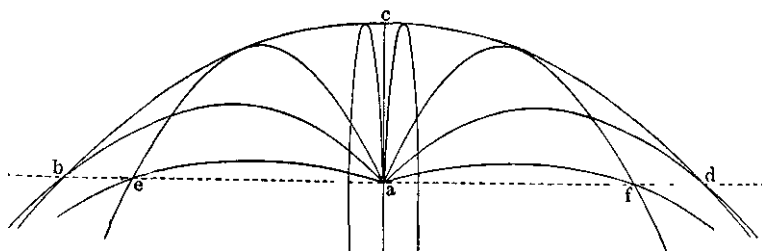
238. Торричелли умер во Флоренции в 1648 году, всего на тридцать девятом году жизни. Но он жил достаточно долго, чтоб остаться в памяти потомства на вечные времена. И удивительно, что именно этот человек в одной

¹⁾ Если расстояние от поверхности будет d , то скорость истечения будет — (§ 149).

речи, которую он произнес в Риме в Accademia della Crusca, утверждал, что посмертная слава не имеет никакой цены. Для него все люди после смерти были одинаково знамениты.

239. Блэз Паскаль является другим высоко одаренным ученым, который также дожил только до 39 лет и благодаря которому Торричеллиевое открытие воздушного океана получило такое превосходное дополнение. Паскаль родился в Клермоне в 1623 году. В 1631 году его отец оставил свою должность в податном управлении и переехал в Париж, повидимому, затем, чтобы всецело отдаться воспитанию единственного сына. Согласно плану, заботливо составленному отцом заранее, сын должен был сначала заняться изучением языков. Но беседы о математических и естественнонаучных вопросах, которые его отец часто вел со сво-

Рис. 242



Объемлющая парабола бросания.

ими друзьями, направили любознательность мальчика в другую сторону. Когда он начал задавать вопросы об этих вещах, отец просил своих друзей не говорить с его сыном о математике; он даже спрятал имевшиеся у него математические книги, так как считал целесообразным начинать обучение математике только позднее. Когда отец не уступил просьбе своего сына учить его математике, сын попросил по крайней мере объяснить, что такое математика. „Эю искусство правильно чертить фигуры и искать соотношения между ними“, объяснил ему отец, „но ты не должен заниматься этим“. Однако, велико было удивление отца, когда он, войдя через несколько времени в комнату 12-летнего мальчика, нашел его погруженным в разсматривание математических фигур и узнал, что, за отсутствием учебника, он старался создать собственную математику сам. Он выдумал особые названия для различных геометрических фигур и самостоятельно нашел различные теоремы, как, например, теорему о сумме углов треугольника.

Теперь отцу пришлось отказаться от своего сопротивления. Началось обучение и молодой Паскаль стал делать такие успехи, что на 16 году жизни написал работу о конических сечениях, возбуждавшую величайшее удивление друзей его отца. Декарт, также бывший в их числе, думал даже, что отец хотел подшутить над ними, выдав за работу сына свою собственную.

Блэз Паскаль быстро успевал и по другим предметам, причем и здесь он не только воспринимал, но и создавал сам. Очень остроумная вычислительная машина и другие математические приборы были результатом неустанной духовной деятельности юноши. Но от этой необычайно ранней зрелости духа его здо-

ровые страдало в высшей степени. Уже в возрасте 18 лет его тело было совершенно разрушено.

240. В 1648 году Паскаль услышал от Мерсенна (§ 171), одного из друзей его отца, состоявшего в переписке с весьма многими физиками того времени, об опыте Торричелли. Он повторил этот опыт как со ртутью, так и с вином (в трубке длиною в 40 футов) и имел удовольствие ознакомиться с пустотой, о которой много спорили и о которой он написал в 1647 году статью еще до того, как стал подозревать о существовании давления воздуха, так как Мерсенн сообщил ему только о самом опыте, но не об его объяснении.

В том же году он узнал и это объяснение, которое нашел превосходным и



в справедливости которого он не сомневался. Однако, Паскаль считал его недостаточно обоснованным и потому сам дал два превосходных доказательства его правильности. Одно доказательство, которое он называл доказательством пустоты в пустоте, он дал при помощи очень простого прибора. Стеклянная трубка, имеющая форму рис. 244 А с отверстиями в *a* и *b*, сначала наполняется в наклонном положении ртутью доверху, причем отверстие *a* закрывается пальцем. Затем затыкается пальцем также отверстие *b*, трубка переворачивается и опускается концом в сосуд с ртутью *B*, после чего, наконец, палец отнимается от отверстия *b* (но не от *a*). Часть ртути переходит в сосуд и в трубке *a b* остается столб ртути, имеющий высоту барометра, а также известное количество ртути в изогнутой части трубки; в длинном колене ртуть

Блез Паскаль. стоит не выше, чем в широком, так как там ничего нет, что давило бы на

ртуть. Теперь палец удаляется от отверстия *a*, в которое он сильно втягивается, и в то же мгновение столб ртути *a b* падает в чашку совершенно, а ртуть в изогнутой части подымается вверх до высоты барометра (рис. 244 С). Таким образом ясно, что повышение ртути в верхней части трубки обусловлено не каким-нибудь внутренним притяжением, а наступает только тогда, когда воздух может давить на ртуть в другом колене.

241. Другое доказательство, придуманное Паскалем, состояло в исследовании, меньше ли давление воздуха у вершины горы, чем у ее подножия, или нет. В самом деле, если ртуть в барометре подымается вверх вследствие тяжести воздуха, то на вершине горы высота барометра должна быть меньше, так как там над барометром лежит менее высокий слой воздуха, чем в точке, расположенной у подножия горы. Паскаль просил в 1648 году своего зятя Перье в

Клермоне разследовать этот вопрос на горе Пюи-де-Дом (Puy de Dome). Перье наблюдал барометр у подножия горы, а сам Паскаль поднялся на гору и наблюдал барометр на ее вершине. Оказалось, что высота барометра на вершине была на 3" 1'5" (три дюйма полторы линии) ниже, чем у подножия горы. Этот опыт сейчас же помог выяснению представления о воздушном океане. Чем ближе подыматься к поверхности этого моря, тем меньше оказываемое им давление.

24-2. После открытия воздушного океана и давления атмосферы теория сифона, предложенная Героном (§ 211), должна была принять иную форму. Причиной того, что жидкость в сифоне не разделяется и не стекает по обоим коленамъ, лежит не в невозможности пустоты, а в давлении воздуха. Потому-то сифон и перестает действовать, когда он так высок (выше 32 футовъ), что вода не уравнивается давлением воздуха. Чтобы показать это, Паскаль построил приборъ,

Рис. 244

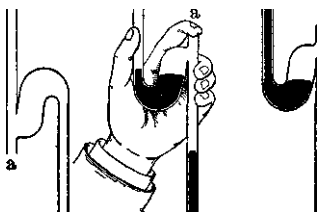


Рис. 245



Прибор Паскаля для объяснения сифона.

изображенный на рис. 245. На дне высокого сосуда, наполненного водой, стоят две чашки с ртутью. Ртуть одной чашки сообщается с ртутью другой посредством изогнутой трубки. От верхней части этой соединительной трубки идет сквозь воду до верхней поверхности прямая трубка. Своим давлением вода вгоняет ртуть по виллообразной трубке вверхъ. Если теперь приподнять слегка один из сосудов с ртутью, то ртуть переходит из первого сосуда во второй, но только в том случае, если давление воды на ртуть так велико, что соединительная трубка заполняется ртутью совершенно. Если же удалить такое

количество воды, чтобы ртуть в двух коленях трубки оставалась разъединенной, то ртутный сифон перестает действовать.

В согласии с этим Паскаль нашел, что водяной сифон вышиной в 40 футов не действует, но если держать его наклонно, так чтобы его высота по отвесу была меньше 32 футов, то он начинает действовать. Равным образом, ртутный сифон длиной в один метр начинает действовать только тогда, когда он приводится в достаточно наклонное положение.

243. Паскаль изучал давление жидкостей и, не зная работ Стевина (§ 187), самостоятельно построил так называемый сосуд Паскаля. Ему также в большей степени, нежели Торричелли, принадлежит заслуга доказательства, что законы давления жидкостей в существенном верны и для воздуха. Он делал расчеты вроде следующего.

Окружающий землю воздушный океан должен иметь такой же вес, как океан воды глубиной в 32 фута и океан ртути глубиной в 076 м. Если известна величина земной поверхности, то можно вычислить вес всего воздушного океана. Если принять радиус земли равным 860 милям, то поверхность земли должна составлять около 9 миллионов квадратных миль. Вес воздушного океана равен $32/24000 \times 9\,000\,000$ или около 12000 куб. миль воды.

На каждый квадратный дюйм действует давление, равное весу столба воды высотой в 32 фута, с поперечным сечением в 1 квадрат. дюйм. Этот столб воды имеет в объеме ${}^3V_{144} - Vg$ ${}^k y \wedge$ ${}^{\text{ФУ}} \text{та}$ ${}^{\text{и}} >$ значить, весит 14 фунтов, так как один кубический фут воды весит 63 фунта¹⁾. Это давление действует не только по направлению сверху вниз, но, по законам давления в жидкостях, также и в стороны и снизу. Таким образом, на поверхность человеческого тела — а ее можно принять равной 12 квадратным футам — действует давление в $12 \times 144 \times 14 = 24\,192$ фунта. Паскаль, однако, обращает внимание на то, что существует соответствующее давление изнутри наружу и притом не только в легких и в других полостях тела, в которые проникает воздушный океан. В тканях тела воздух также находится под соответствующим давлением. Это давление производит то, что, если высосать из наперстка воздух, то кожа втягивается в него, что кровь вытекает в кровососные банки при кровопускании и т. д. От внезапного уменьшения внешнего давления кровь выступает из тончайших сосудов в глазах, в носу и т. д. Напротив, медленное изменение давления переносится легко, так как внутреннее давление постепенно подгоняется к внешнему. В виду этого возможно, что человек может выжить даже при давлении в одну четверть атмосферы, а медленное повышение давления до нескольких атмосфер он может выносить хорошо.

244. Во времена Паскаля в Цистерсианском монастыре Порь-Рояль (Port-Royal) близ Фонтенбло, которому принадлежала также недвижимость в Париже, поселились приверженцы голландского богослова Янсена. Эти так называемые янсенисты присоединились к учению Августина о бесконечности милосердия Бжия и стремились жить, согласно первоначальным положениям церкви, в работе, воздержании и любви к ближнему. Это привело их к резкому столкновению с иезуита-

¹⁾ Давление воздуха на квадратный сантиметр составляет приблизительно один килограмм.

ми. Паскаль все более и более чувствовал влечение к янсенистамъ. В возрасте 27 лет он совершенно оставил свою научную деятельность, так как пришел к убеждению, что хорошо употреблено только ТО время, которое идет на молитву, на религиозныя размышления и на проявления христианской любви к ближнимъ. Временами, однако, его настоящая натура прорывалась. Такъ, однажды плодомъ безсонной ночи была работа о циклоиде, которая возбудила удивление всех математиков того времени. Днем и ночью Паскаль читал библию, которую выучилъ почти наизусть. Кроме того, он началъ усиленно заниматься литературной деятельностью в религиозном направлении. В ряде появившихся без подписи писемъ, так называемых Писем Провинциала, которыя постепенно перешли в самыя резкия нападки на иезуитовъ, он защищал янсенистов против иезуитовъ. Эти письма выдержали более 60 изданий и имели огромное значение для развития французскаго литературнаго языка. — Паскаль умер в 1662 году.

245. В то время как Паскаль во Франции обратил свое внимание на воздушный океан и на его действия вообще, другие—можно сказать, по какому-то мистическому любопытству—обращали свои взгляды больше на само пустое пространство или на Торричеллиеву пустоту, как стали называть это пространство. Это чудесное пространство, которое ничего не содержитъ, в существовании котораго всегда сомневались и которое даже отрицали, всетаки существовало и какими чудесными

Рис. 246 свойствами,
обладать!

следовало думать, оно должно
Любознательность, возбужденная



открытием Торричелли, распространялась все шире и, наконецъ, захватила въ круги, где даже уже не знали, чем она собственно была вызвана. Таким образом и могло выйти, что вопрос стали разсматривать с совсем новой стороны и что получились совершенно новые результаты. Между людьми, которых навель, на экспериментирование интересъ, возбужденный вопросом о пустом пространстве въ середине XVII века, нужно особенно отметить Отто фонъ-Герике. Это был больше искусный экспериментаторъ, чем ученый физикъ. Сын сельскаго старосты Иоганна Герике, он родился в 1602 году в Магдебурге. В Лейпциге, Гольмштедте и Иене он изучал сначала право-

Отто фонъ-Герике. ведение. Затем он отправился в Лейпциг, чтобы там отдался изучению мате-

матики*и механики. Это было в 1623 году, значить, едва лишь три года после смерти Стевина, и Герике, без сомнения, слушал здесь молодого высоко одареннаго Снелля, который в то время был в Лейдене профессором математики (§ 106). Объездив Францию и Англию, Герике вернулся в родной городъ, где в 1627 Иу стал ратманомъ. После разрушения Магдебурга он перешел на шведскую службу

и был сделан старшим инженером в цитадели Эрфурта^ В 1646 году онъ стал бургомистром Магдебурга. Эту должность Гери́ке занимал много летъ. В возрасте 79 лет он ушел на покой и последние пять лет жизни прожилъ у своего сына в Гамбурге, где и умер в 1686 году.

Когда Гери́ке начал заниматься опытами с безвоздушным пространствомъ, онъ, повидимому, не имел почти никаких сведений об опытах Торричелли и Паскаля, которые собственно и возбудили интерес к этому делу.

246. Гери́ке хотел получить пустое пространство просто выкачиванием воды из бочки, в которую не мог входить воздухъ. Он наполнил бочку водою, повернул ее затычкой вниз (рис. 247) и наглухо привинтил к ней трубку насоса из меди, который служил пожарной трубой. Этот насос был снабжен кра-

Рис. 247



Выкачивание бочки (Гери́ке).

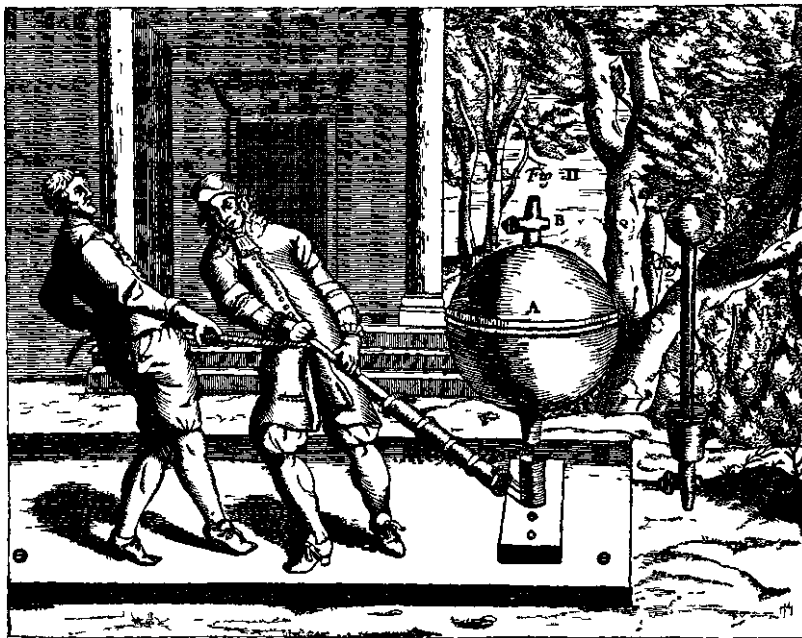
ном *а*, через который вода могла входить из бочки в насосъ. Попадая в насос вода могла затем удаляться из трубки через кран *б*. Вытягивать поршень оказалось „для трех крепких людей" тяжелее, чем ожидал Гери́ке, и в первый раз аппарат лопнулъ. Во второй раз прибор выдержал испытание, но въ бочке было слышно сильное кипение и Гери́ке тотчас понялъ, что в бочку сквозь дерево входил воздухъ. Тогда Гери́ке поместил эту бочку в другую, больших размеровъ, наполненную водою. Теперь воздухъ во всяком случае не могъ входить в бочку, из которой он выкачивался, так как она была окружена со всех сторон водою, а вода, думал Гери́ке, проходит сквозь дерево не такъ свободно, как воздухъ.

Но теперь вообще ничего не вышло. Трое крепких людей не могли двинуть поршня. Гери́ке подумалъ, что, может быть, воздухъ легче выкачивать, чем воду,

и потому соорудил большой медный шар с краномъ. Этот шар не наполнялся водою, а непосредственно былъ прикреплен к насосу (рис. 248). Сначала выкачивание шло легко, а затем оно становилось все тяжелее и наконец двое дюжих людей (*in quadrati*) едва могли двигать поршень, а как только они кончили, шар с сильным шумом сразу сплюснулся.

Тогда Герике заказал более крепкий шаръ. С этим шаром опыт удался, хотя он стоил большой работы, и когда Герике открыл кранъ, он имел удовольствие слышать, как свистел воздухъ, входя в шаръ.

Рис. 248



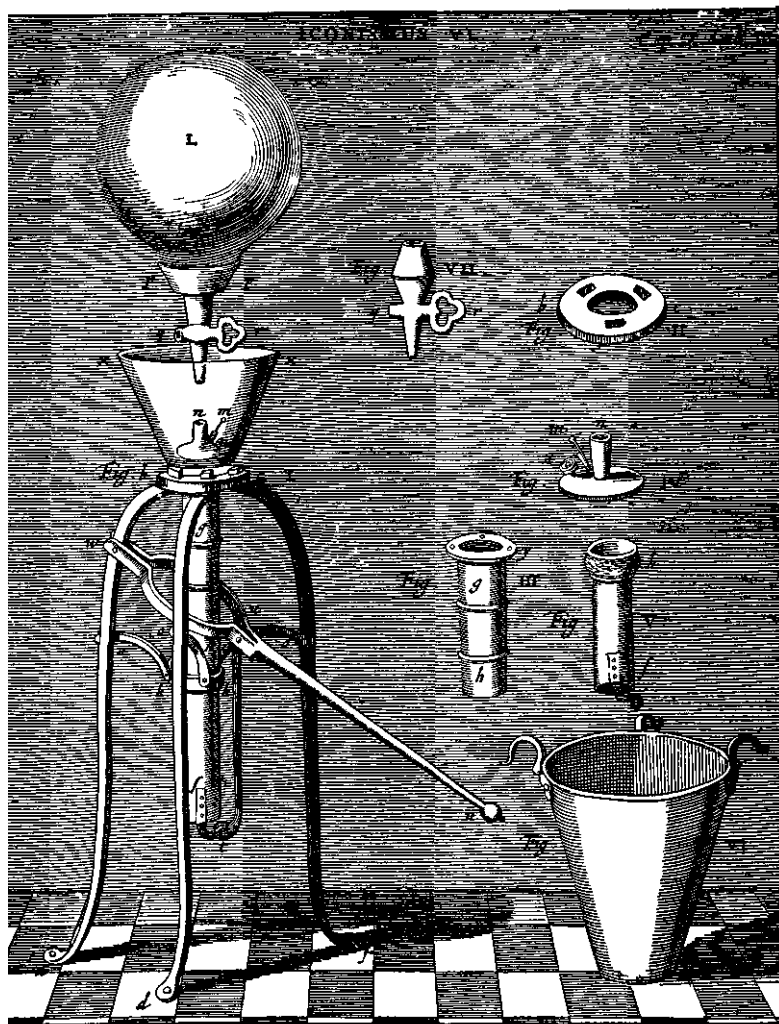
Выкачивание медного шара (Герике)

247. После этих предварительных опытов Герике соорудил особый воздушный насосъ, рис. 249. В середине треногого штатива помещался в отвесномъ положеннѣ цилиндръ. Стержень поршня *l*, входившій в цилиндръ снизу, приводился в движеніе при помощи рычага *n*. Кроме того, насосъ былъ снабженъ, как и прежніе приборы, клапаномъ и краномъ; а то пространство, из котораго выкачивался воздухъ, былъ большой стеклянный шар *L* к которому герметически пригонялась часть насоса с краномъ *qr*. Эта часть своимъ нижнимъ концомъ приходилась в верхній конецъ цилиндра. Такъ какъ эти соединенія легче сделать непроницаемыми для воды, чемъ для воздуха, то они были окружены сосудомъ *xx*, наполненнымъ водою.

24-8. Если мы теперь пересмотримъ те многочисленныя опыты, которые произвелъ Герике с этой машиной, то заметимъ, что Герике выказывалъ особое предпочтеніе опытамъ, возбуждающимъ изумленіе. С другой стороны надо, однако, сказать, что онъ стремился расширить человѣческое знаніе и что онъ нашелъ въ этой области довольно важныя вещи.

К явлениям взрыва в собственном смысле слова можно отнести выкачивание тонкостенных стеклянных сосудов. Давление внешнего воздуха с шумом разбивает их так же, как сплюсчивает упомянутый выше медный шаръ. В настоящее время подобный опыт часто выполняется такъ, как он изображен на рис. 250: цилиндр обвязывается пузырем и последний при выкачиванши воздуха разрывается.

Рис 249



Воздушный насос О. ф. Герике.

Сюда относится также торжественный опыт, который был произведен Герике в 1654 г. на Регенсбургском рейхстаге перед императором Фердинандом III и чинами рейхстага.

Два полых полушара, диаметром в $\frac{2}{3}$ локтя, были так аккуратно пришлифованы по краямъ, что при небольшой смазке салом и при нажатш друг къ другу они закрывались совершенно герметически. Воздух выкачивался из нихъ

сквозь отверстие, снабженное краномъ, а затем к каждому полушарию было припряжено по 8-ми лошадей (рис. 251). Только с величайшим трудом лошади могли разнять полушария, а когда это случилось, то послышался сильный шумъ. — Поперечное сечение шара было приблизительно равно 200 квадратным дюймамъ, и если воздух был выкачан хорошо, то полушария прижимались друг к другу давлением в 200 X 14 или 2800 фунтов на каждое полушарие. Подобный прибор меньших размеров можно найти в настоящее время в собрании физических приборов каждой школы под названием „Магдебургских полушарий“.

Тогда же Герике произвелъ опытъ, в котором пятьдесят здоровых людей не были в состоянии сопротивляться маленькому движению пальца одного человека. Медный цилиндр диаметром в $\frac{3}{4}$ локтя был укрепленъ



Разрыв пузыря
атмосферным да-
влениемъ.

Рис. 250

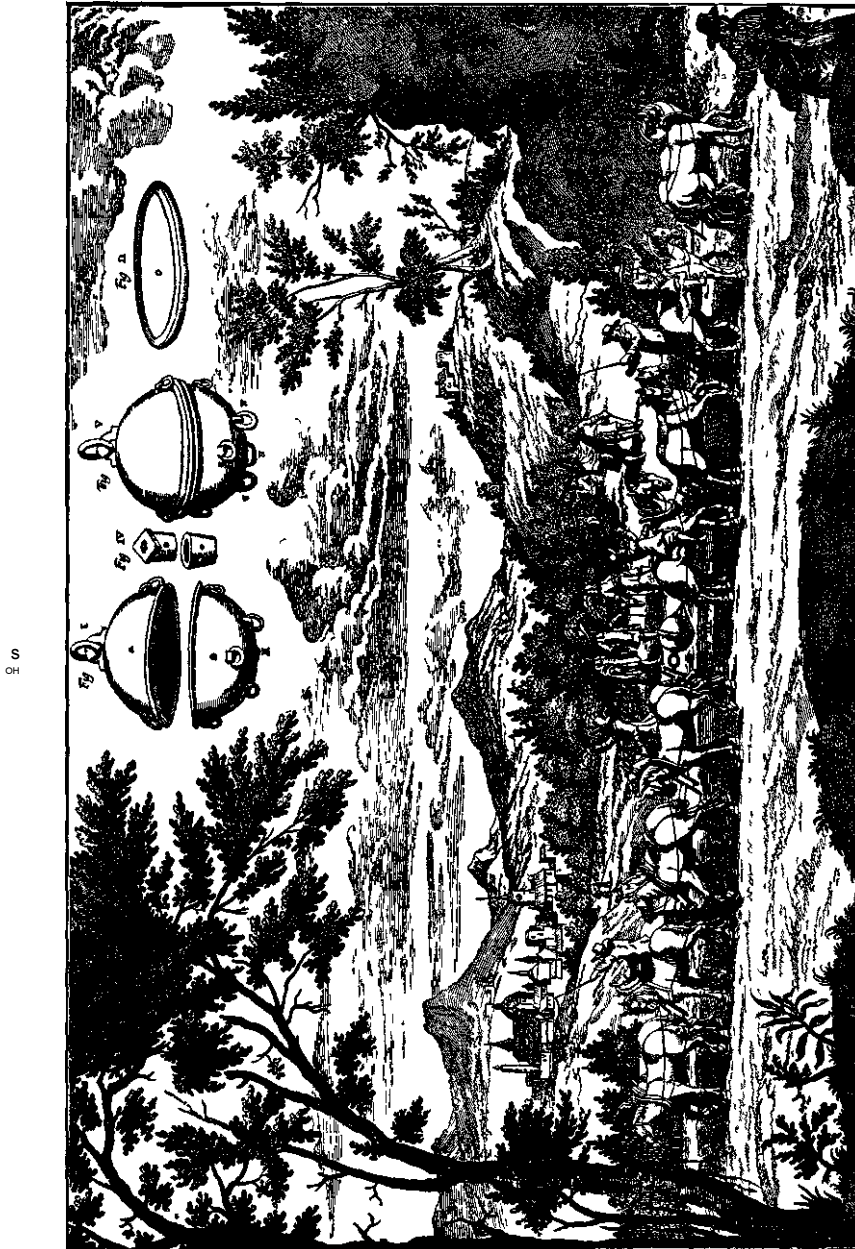
на деревянном столбе (рис. 252). От стержня

поршня шла, перекидываясь через блокъ, веревка, на конце разделенная на части такъ, что за нее одновременно могли тянуть 50 человекъ. Нижняя часть этого цилиндра сообщалась с безвоздушным шаромъ, который на некоторое время закрывался краномъ. Теперь 50 человекам был отдан приказ тянуть веревку изо всей силы, благодаря чему поршень подымался немного вверхъ. Затем открывался кран и цилиндр приводился в сообщение с безвоздушным шаромъ. Небольшое количество воздуха из цилиндра переходило в шар и прежде 50 человек уже не могли удержать поршень на прежней высоте, а должны были несколько отодать его.

249. Только на упомянутом рейхстаге узнал О. ф. Герике об открытш Торричелли и Паскаля; но в это время он уже сам сделал эти открытия и притом иным путем (рис. 253). Он соединил герметически несколько трубъ, такъ что оне составили вместе трубку длиною в 19 магдебургских локтей. В местах соединения были сделаны кольцеобразные жолоба, въ которые наливалась вода для того, чтобы сделать соединение возможно лучше. На верхнемъ закрытом конце былъ приделан на боковой трубке кранъ. Эта трубка соединялась с безвоздушным шаром и при открытии крана воздух отчасти высасывался из длинной трубки. Вода подымалась в трубке и, когда она достигала такой высоты, какой только могла достигнуть после многократного высасывания воздуха при помощи безвоздушного шара, кран закрывался. На куске пробки, плававшем на воде, была укреплена маленькая человеческая фигурка, указывавшая на нанесенныя на стекле метки. Герике заметилъ, что этот водяной столб постоянно подымается и опускается и что эти колебания находятся в связи с измененшии погоды. Поэтому он назвал плавающую на воде фигурку „человечком погоды“.

250. Герике понял также, что это явление вызвано весом воздуха. Онъ взвешивал полый шар без воздуха, с воздухом и водой, но не постарался получить определенный числовой результат для веса воздуха, так как воздух — говорит он — не всегда весит одинаково. Он довольствовался изготовлениемъ прибора, который показан на переднем плане рис. 253 и который обнаруживает перемены веса воздуха. Большой полый шар без воздуха на одном конце колысела уравнивается грузом меньшого объема на другом конце. Еслибы

массы металла в обоих шарах имели совершенно одинаковый весъ, то шары, конечно, не были бы в равновесии, — большой шар вытеснял бы больше воздуха и потому воздух сильнее подымал бы его. Оказалось, однако, что эта сила подъема



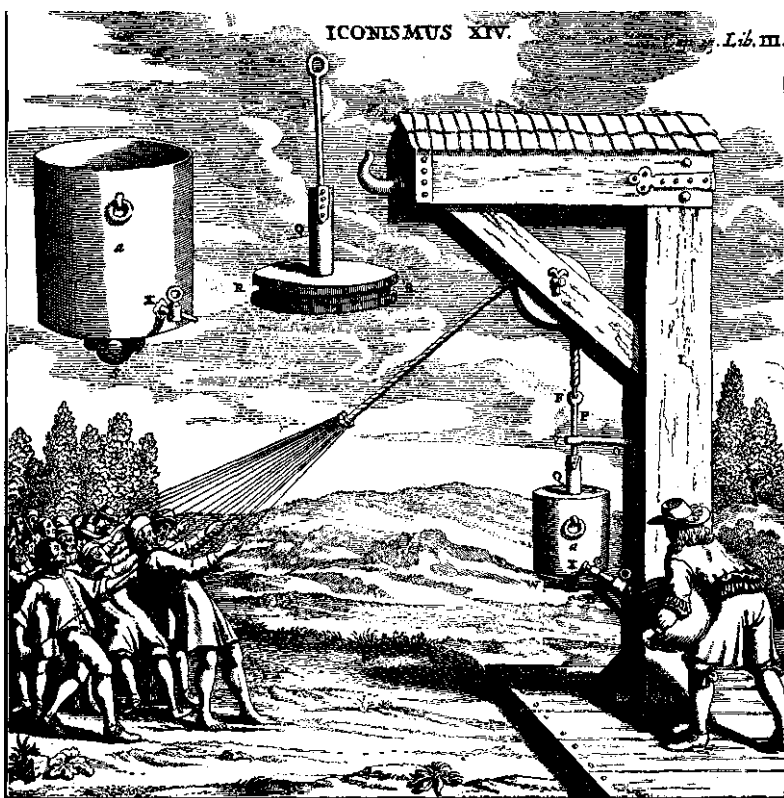
в разное время различна, что, следовательно, вытесненный воздух имеет не всегда одинаковый весъ. Так как этот прибор должен показывать только пере-

менность силы, поднимающей шар вверх, то, конечно, нет необходимости, чтобы больший шар был безвоздушнымъ.

251. Гери́ке наблюдал также явления, происходяща с различными предметами в безвоздушном пространстве. Открыв сразу кран под водою, Гери́ке замечилъ, что водяная струя при ударе о шар издает резкий звукъ, как будто она представляет твердое тело. Когда вода ударяет о твердый предмет в воздухе, то получается только глухой звукъ, так как воздухъ, так сказать, образует подушку.

Горящая свеча гаснет при выкачивании воздуха, так какъ, по словам Гери́ке, воздух питает огонь. Птицы в пустом пространстве умирають, рыбы раз-

Рис. 252



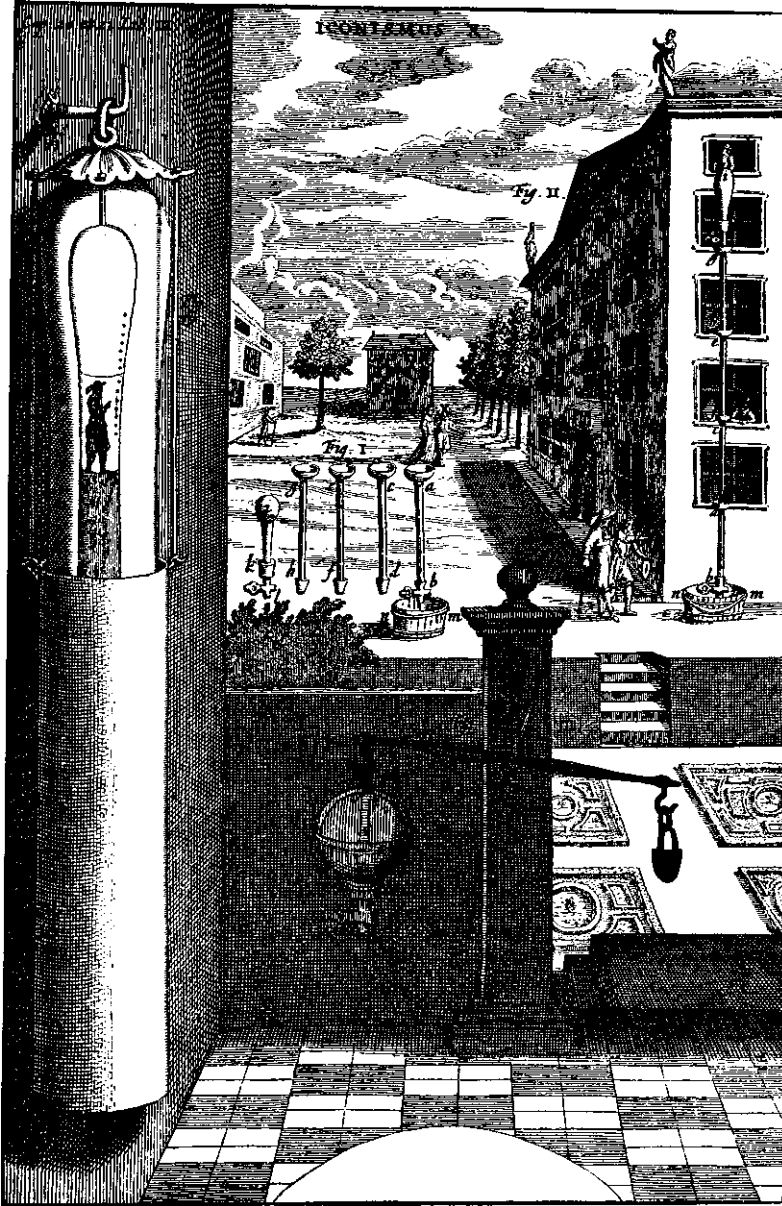
Атмосферное давление пересиливает 50 человекъ.

дуваются и наконец лопаются. Виноград сохранялся свежим в безвоздушномъ пространстве более полугода. Колокольчик в пустом пространстве не давалъ звука.

252. Если вода помещалась в закрытое пространство и затем из него выкачивался воздухъ, то в воде начинали подыматься пузырьки воздуха. Гери́ке, не считавший воздуха чемъ-либо самостоятельнымъ, а смотревший на него, как на испарения предметовъ, объяснял это явление выделением испарений из воды.

Правильное объяснение этого явления было дано только французским физиком Нолле (1700—1770). Находясь в соприкосновении с воздухом, вода вбирает в себя некоторое количество его. И потому, если нагревать воду или умень-

Рис. 253



Предсказатель погоды Герике и прибор для обнаружения веса воздуха.

шать давление на ее поверхность, воздух выходит из воды. Вода поглощает различные газы в разном количестве. — Другия жидкости и даже твердыя тела также

обладают способностью поглощать газы. Это явление, так называемая диффузия или эндосмосъ, играет в природе очень важную роль. Растворенный во всякой воде воздух поддерживает дыхание рыбъ. Между твердыми телами особенной большой способностью поглощать газы обладает пористый уголь (деревянный уголь, костяной уголь). На этом основано его действие в искусственных фильтрахъ.

253. В своих первых опытах Герике исходил из предположенш, что в силу своего веса воздух должен собираться на дне сосудовъ. Поэтому он всегда производил выкачивание сосудовъ, из которых удалялся воздухъ, у самого дна. Он думалъ, что, когда половина воздуха выкачана, то другая половина находится в нижней части сосуда, верхняя же часть его свободна от воздуха. Однако, онъ увидель, что это предположение не соответствует фактамъ; однажды он соединилъ горлышками два сосуда, из которых нижний содержал воздухъ, а верхний нетъ. Когда он открыл кран между этими сосудами и затем отделил их друг от друга, то заметилъ, что воздухъ входил в оба сосуда с одинаковой силой. Таким образом он нашель, что воздух не занимает определенного пространства, какъ, напримеръ, вода, но что он может занимать любое пространство, как бы велико оно ни было. Что воздух можно сжимать, было известно уже давно.

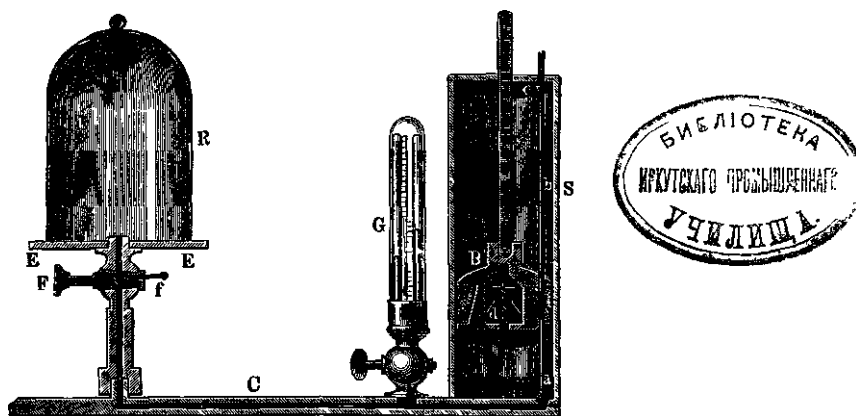
254 Герике открыл также, что давление воздуха, так как его производить вес воздуха, на высоких местах должно быть меньше, чем в более низкихъ, что уже было доказано Паскалемъ. Следовательно, на высокихъ местах воздухъ должен быть сжат меныие. Для того чтобы убедиться в этомъ, Герике взялъ большую бутылку, снабженную краномъ, и закрыл кранъ у подножия башни, такъ, что бутылка была наполнена воздухом той плотности, какую он имел в этомъ месте. Затем Герике поднялся на вершину башни, открыл здесь кран и нашель, какъ и ожидалъ, что воздух слегка выходил из трубки. Он подчеркивает при этомъ, что принял меры к тому, чтобы температура бутылки оставалась неизменной, так ему было хорошо извеешо, что нагревание закрытого воздуха должно вызвать истечение известного количества его.

255. Когда опыты Герике стали известны в Анилии, они побудили Роберта Бойля заняться воздушным насосомъ. Бойль улучшил этот насос и исследовал целый ряд явлений в пустом пространстве. Гюйгенс также улучшил этот прибор и по его указанию Денис Папин стал продолжать исследования сначала одинъ, а затем вместе с Бойлемъ. Этим людям и принадлежит главная заслуга выработки того типа воздушного насоса, который изображен на рис. 254 и 255. Справа виден цилиндръ. В поршне находится клапан *d*, который открывается вверхъ, т. е. наружу. Другой клапанъ, в виде пробки, насажен на стержень, проходящий сквозь поршень и верхнюю стенку цилиндра; к поршню этот стержень приинан Иерметически. На верхнем конце стержень имеет надставку. Когда поршень движется вверхъ, он увлекаетъ за собою стержень и клапан *a* открывается. При опускании поршня клапанъ закрывается. Заключенный под поршнем воздух уходит через клапан *d*. Отверстие *a* соединяется каналом со серединою плоско отшлифованной стеклянной пластинки, „тарелки". На тарелку ставится колоколь, изъ-под которого должен быть выкачан воздухъ; шлифованный край его смазывается салом для того, чтобы он лежал на тарелке совершенно плотно.

Всякий разъ, когда поршень подымается вверхъ, воздухъ, находящийся в КО-

локоле, в соединительном канале и в самой нижней части цилиндра, в так называемом „вредном пространстве“, отчасти входит въ цилиндръ. Таким образомъ, онъ разрезается и степень этого разрежения зависит от объемов колокола и цилиндра. Когда поршень опускается, воздухъ выходит из цилиндра указаннымъ образомъ. Мы не будем разсматривать „вредного пространства“, которое должно быть возможно меньше, и примемъ, напримеръ, что объем колокола вместе с соединительным каналом составляет 2 л, а объем цилиндра 1 л. В таком случае, после первого движения поршня плотность воздуха будет составлять $\frac{2}{3}$ пер-

Рис. 254



Современная форма воздушного насоса (сбоку)

воначальной. Следовательно, после двух движений поршня плотность будетъ равна $\frac{2}{3} \times \frac{2}{3}$ или $\frac{4}{9}$, после третьей $\frac{8}{27}$, после четвертой $\frac{16}{81}$ и т. д. первоначальной плотности. После десятого движения поршня она составит $\frac{1024}{59049}$ или приблизительно $\frac{1}{58}$ первоначальной плотности.

При помощи крана в трубке С соединение между цилиндром и колоколомъ можно закрыть; это помешаетъ воздуху входить из цилиндра подъ колоколъ, если цилиндр пропускаетъ воздухъ. Соединительный канал между цилиндромъ и колоколомъ соединяется также с небольшимъ стекляннымъ колоколомъ (Г, под которымъ находится „укороченный барометръ“; по этому барометру можно отсчитывать давление воздуха внутри и темъ определять степень полученного разрежения.

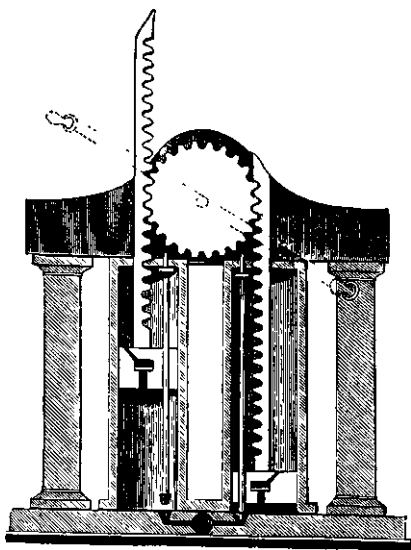
Одно из введенныхъ Бойлемъ улучшений воздушного насоса состояло въ томъ, что в движение приводилось одновременно два насоса (рис 255) и притомъ такъ, что во время движения одного поршня вверхъ другой опускается. Это ускоряетъ работу и, так как оба поршня приводятся в движение одним и тем же механизмомъ (зубчатое колесо с зубчатыми стержнями составляетъ изобретение младшего современника Бойля — Гауксби), то работа, нужная для поднятия поршня, уменьшается давлениемъ воздуха на другой поршень.

Робертъ Бойль производилъ такіе же изслѣдованія надъ явленіями в пустомъ пространствѣ, какъ и Герике, и притомъ, повидимому, съ большою точностью. Его другъ наблюдалъ надъ тепловыми явленіями будутъ упомянуты ниже.

256. Какія трудности должно было представлять освобожденіе отъ стараго

взгляда, что пустое пространство с огромной силой стремится сжаться, можно видеть из того, что были ученые, которые не верили в правильность нового воззрения, несмотря на опыты Торричелли, Паскаля, Герике и Бойля. Так, например, Франциск Линь, профессор в Лютихе (1595 — 1675), указывал в виде возражения на то, что столб ртути не падает в длинном колене барометра, если закрыть отверстие короткого колена, сквозь которое должна действовать атмосфера. На это можно ответить, что в коротком колене, даже если его отверстие закрыто, всегда содержится некоторое количество воздуха, которое и удерживает ртуть в другом колене на прежней высоте. Линь брал стеклянную трубку, открытую на

Рис. 255 обоих концах, закрывал нижнее от-



Современная форма воздушного насоса (спереди).

верстие пальцем и наполнял ее ртутью. Затем он закрывал верхнее отверстие, ставил нижний конец в чашку с ртутью и отнимал палец от нижнего отверстия. Таким образом, у него получался барометр, закрытый сверху пальцем. Этот палец, по мнению Лина, чувствовал всасывающую силу пустого пространства, так как кожа пальца втягивалась в трубку. В пустом пространстве, говорил Линь, существуют невидимые „нити", которые стягивают его стенки, — невидимые нити между ртутью и кожей пальца. Линь остался при своем мнении даже после того, как Паскаль, проделав это наблюдение, дал ему правильное объяснение (§ 203).

257. Теперь Бойль взялся за основательное исследование того обстоятельства, которое требовало объяснения пре-

жде всего, а именно того, что столь незначительное количество воздуха, которое было заключено в барометре, могло удерживать в равновесии столб ртути. При этом он сделал очень важное открытие.

Для производства опыта ему служила изогнутая стеклянная трубка с длинным открытым и с коротким закрытым коленом (рис. 256). Прежде всего приливанием небольшого количества ртути в закрытом колене был отделен известный объем воздуха. Так как ртуть имела одинаковую высоту в обоих коленах, то отделенный воздух находился под тем же давлением, которое производит воздушный океан, т. е. под давлением одной атмосферы. Затем в длинное колено наливалась еще ртуть и при этом было видно, что объем заключенного в трубке воздуха тем меньше, чем больше налито ртути. Когда объем воздуха вдвое меньше первоначального объема (рис. 256 B), то ртуть в открытом колене стоит на двадцать восемь дюймов выше, чем в закрытом. Следовательно заключенный в трубке воздух находится под давлением двух атмосфер — под давлением действительной атмосферы и давлением столба ртути, которое также

велико, как и давление воздуха. Бойль продолжил эти опыты дальше и для соответственных объемов и давлений получил следующие величины:

объемы	12	6	4	3
давления	Г	2	3	4

атмосф.

Объем массы воздуха уменьшается в том же отношении, в какомъ увеличивается давление. Увеличение давления в 2, 3, 4, 12 раз уменьшаетъ объем до $\frac{1}{2}$, Y_3 , $\frac{1}{4}$, Y_{12} . Можно также сказать, что произведение объема и дав-

Рис. 256

Рис. 257

*ИАВн. 3Z"**16"**K21*

-е -б

A B

C

Закон Бойля (сжатие).

A B

C

Закон Бойля (расширение).

ления для определенного количества воздуха всегда одно и то же: $12 \times 1 = 4 \times 3 = 3 \times 4$, конечно, если температура воздуха при этом не меняется.

Тогда Бойль стал исследовать, сохраняет ли этот закон свою силу в том случае, когда давление, под которым находится воздухъ, уменьшается. Онъ наполнил трубку, закрытую с одного конца ртутью, но такъ, что в ней остава-

лось немного воздуха, закрыл отверстие этой трубки пальцем и погрузил ее въ глубокий, но узкий сосуд со ртутью так (рис. 257, *A*), что из ртути выдавалась как раз часть трубки, наполненная воздухомъ. Пусть эта часть имеет в длину 8 дюймовъ. Этот воздух находится под давлением одной атмосферы. Если теперь подымать трубку вверхъ, то воздух в ней расширяется, но в то же время в трубке подымается и ртуть. Когда трубка подымется настолько, что воздух займет объемъ, вдвое больший первоначального (*B*), то столб ртути будет иметь в высоту 14 дюймовъ. Таким образомъ, давление атмосферы на внешнюю поверхность ртути, которое равно давлению столба ртути в 28 дюймов высотой, уменьшено на половину атмосферного давления. Если поднять трубку настолько, чтобы объем воздуха стал вчетверо больше первоначального (*C*), то ртуть подымается на высоту 21 дюйма. Теперь воздух находится под давлениемъ, равным давлению столба ртути в 28 — 21 = 7 дюймамъ, т. е. под давлением $\frac{1}{4}$ атмосферы.

258. Этим было доказано, что закон имеет общее значение, и теперь уже не было основания говорить о „естественномъ" объеме воздуха, как это делалъ Геронъ. Герон называл естественным объемом воздуха тот объемъ, который воздух имеет при давлении одной атмосферы, т. е. при давлении, которое производит воздух на поверхность земли или, лучше сказать, на поверхность моря.

259. Найденный Бойлем закон прежде всеми, да и теперь еще некоторыми называется законом Мариотта. Позднее его исследованием занимались многие физики и при этом выяснилось, что закон не так проситъ, как он казался по опытам Бойля. Целый ряд самых искусных экспериментаторовъ, по преимуществу французовъ, занимались исследованием закона Бойля.

Первые отклонения, которые были замечены, сводились на ошибки наблюдений. Но затем былъ) замечено, что некоторые газы совершенно ясно дают иные выводы: они сжимались сильнее, чем это следовало по закону. Но так как указанные газы были такие, которые могли быть обращены в жидкость при помощи сильного сжатия и охлаждения, то было решено, что это не совершенные газы. Для настоящих же газов этот закон считали вернымъ. Этот закон рассматривали даже, как закон разумный, т. е. считали логически необходимымъ, что воздухъ вдвое большей плотности должен производить вдвое большее давление. Выдающиеся физики, несмотря на обнаруженные ими же самими отклонения, продолжали держаться этого закона и объясняли отклонения ошибками своих собственных измерений.

Но, наконецъ, французский физик Реньо (1810—1878) точными измерениями неопровержимо установилъ, что этот закон не остается абсолютно точным ни для одного газа. Все газы, за исключением водорода, сжимаются сильнее, чем этого требует законъ, и, может быть, их все объявили бы парами, за исключением водорода, который один есть будто бы совершенный газъ, еслибы Реньо в конце концов не доказалъ, что и водород представляет отклонение, но в обратную сторону, а именно, сжимается меньше, чем требуется по закону Бойля. Таким образомъ, не существует вообще ни одного газа, который следовал бы этому минимому закону разума. Но история закона Бойля доказываетъ, что не следует слишком торопиться объявлять законы природы логическими необходимостями, т. е. чѣм-то такимъ, что можно обосновать простым мышлением или вывести из математической формулы. Природа должна сама учить нас законам природы и нам не

остается ничего, как только возможно лучше подгонять наши формулы к законам действительности. Впрочемъ, для целей практической жизни закон Бойля определяет сжатие газов достаточно точно..

260. Эдм Мариотт родился в 1620 г. в Бургони, в департаменте Соны и Луары. Сначала он был приором одного монастыря вблизи Дижона, но затемъ, благодаря своимъ успешнымъ научнымъ изслѣдованіямъ, приобрелъ известность, былъ приглашенъ в 1666 году в члены Парижской Академии наукъ и оставался здѣсь до самой смерти в 1684 году. Теперь онъ могъ больше отдаться науке и онъ произвелъ здѣсь много ценныхъ работъ. Не зная упомянутой работы Бойля¹⁾, онъ издалъ в 1676 году превосходный трудъ о свойствахъ воздуха, в которомъ онъ устанавливаетъ тотъ же законъ о сжимаемости воздуха, который былъ установленъ и обоснованъ аналогичными опытами Бойля за несколько летъ до того. В то же время онъ взялся за задачу опредѣленія высотъ при помощи барометра, которой занимался уже Паскаль, не давший, однако, ея полного решения.

261. Из опыта, произведеннаго зятемъ Паскаля Перье, выходило, что давление воздуха на вершинѣ горы меньше, чемъ у ея подножія, и Паскаль указалъ на то, что этимъ явленіемъ можно воспользоваться для опредѣленія высоты мѣста. Эта мысль была подхвачена некоторыми другими учеными, но болѣе точная связь между увеличеніемъ высоты и уменьшеніемъ давления осталась неизвѣстной.

Мариотт опредѣлялъ высоту барометра на Парижской обсерваторіи сначала в глубокомъ погребе, затемъ на уровнѣ земли и наконецъ на вершинѣ обсерваторіи; из этихъ наблюденій онъ вычислялъ давление воздуха на болѣе значительныхъ высотахъ. Очень интересно слѣдить за осторожными вычисленіями Мариотта в этой области, гдѣ раньше вычисляли мало и гдѣ, казалось, съ "Ирудомъ" применима магематическая обработка. Поэтому мы перейдемъ къ вычисленіямъ Мариотта, но не съ его числами, а съ числами, переведенными в болѣе употребительныя теперь меры.

Различіе высотъ барометра съ измененіемъ его положенія можно было очень легко измерить на такомъ высокомъ зданіи, какъ Парижская обсерваторія, — его можно наблюдать и при гораздо меньшемъ измененіи высоты. Именно, барометръ падаетъ на 1 мм при повышеніи всего на 10'5 м. Само собою разумеется, что мы должны представлять себѣ уменьшеніе давления воздуха постепеннымъ, какъ и убываніе его плотности. Представимъ себѣ, однако, вместе съ Мариоттомъ, что воздухъ состоитъ изъ отдельныхъ тонкихъ слоевъ и что каждый слой имеетъ равномерную плотность. Представимъ себѣ еще, что в самомъ нижнемъ слое давление воздуха составляетъ 760 мм, в слѣдующемъ затемъ 759 мм, в слѣдующемъ 758 мм и т. д. Тогда мы можемъ вычислить, какую толщину (высоту) имеетъ каждый изъ этихъ слоевъ; именно, если сравнить первый слой со вторымъ, то оказывается, что второй слой, съ давлениемъ всего в 759 мм, долженъ занимать болѣе пространство, чемъ первый, и по закону Мариотта это пространство должно быть в $\frac{760}{759}$ разъ болѣе

¹⁾ Это предположеніе врядъ ли верно. Работа Мариотта „Essai sur la nature de l'air", в которой содержится этотъ законъ, появилась в 1679 году, а работа Бойля о томъ же предметѣ „Новые опыты о пружинности воздуха" (New experiments touching the spring of the air) была опубликована уже в 1660 году. Ср. Тэтъ, Свойства матеріи.

того пространства, которое занимает первый слой. Таким образом, толщина этого слоя должна быть $= \frac{760}{105} \times 1,5$ м. В третьем слое давление достигает 758 мм,

значит, он должен быть в $— \frac{760}{100}$ раз толще первого. Согласно этому толщина последовательных слоев должна быть:

$$\frac{10,5}{105} \times \frac{760}{105} \times 1,5 \text{ м}, \quad \frac{760}{105} \times \frac{760}{105} \times 1,5 \text{ м}, \quad \frac{760}{105} \times \frac{760}{105} \times 1,5 \text{ м}$$

Для того чтобы определить высоту места с данным давлением воздуха, например, высоту места, где давление воздуха равно V_a атмосфере (380 мм), нужно вычислить толщины 380 слоев и сложить их. Конечно, такое вычисление очень сложно. Мариотт произвел его следующим сокращенным, но не вполне точным способом. Нижний слой имеет толщину 10,5 м. Верхний слой с давлением

в 380 мм имеет толщину $— \frac{760}{380} \times 10,5$ или $2 \times 10,5$ м.

Таким образом, верхний и нижний слои в среднем имеют толщину 15,75 м. То же самое справедливо для второго слоя сверху и второго слоя снизу, так как последний несколько менее плотен, чем нижний, а первый, наоборот, плотнее самого верхнего. Значит, третий слой сверху и третий снизу, четвертый сверху и четвертый снизу имеют в среднем толщину также в 15,75 м. Итак, толщина всех слоев в среднем составляет 15,75 м и потому высота всех слоев вместе составляет $15,75 \times 380 = 5985$ м.

262. Ход разсуждения был найден, но вычисление можно было еще улучшить и это сделал в 1762 г. Делюк в Женеве. Вычисление упрощается, если вычислять не толщину воздушного слоя на каждый миллиметр давления воздуха, а наоборот — давление воздуха для каждого слоя толщиной в 1 м.

Таким образом найдено, что, если принять давление атмосферы на уровне моря за одну атмосферу, то давление составляет

$$\begin{array}{rcl} V_2 \text{ атмосферы на высоте} & 5539 \text{ м} & \\ V_4 & . & - 11078, \\ \frac{1}{8} & » & » 16617, \\ \frac{1}{16} & » & » 22156 \end{array}$$

Так как при подъеме на гору или во время путешествия на воздушном шаре нельзя вообще знать, какую величину имеет давление воздуха в это же время на уровне моря, то нельзя в точности знать, на какой высоте находишься. Но если потом можно найти, какую величину имело давление воздуха в том месте, над которым находился, то можно вычислить точно и высоту своего поднятия. — Конечно, при этом должна быть принята в расчет и температура воздуха. Обычно приходится довольствоваться одновременными измерениями температуры вверх и вниз. На точность результата этого вычисления влияет неправильное распределение теплоты в промежуточных слоях.

263. Все опыты, произведенные Аристотелем (§ 228), Галилеем (§ 229) и Герике (§ 250) для определения веса воздуха нужно признать неудачными. Сделал такой опыт и Бойль; при этом он думал, как Галилей, выгнать воздух из сосуда при помощи нагревания. Конечно, он не достиг этого в полной

мере и потому разница в весе наполненного воздухом и пустого — по его мнению—сосуда была слишком мала. Потому же он получил и слишком малую величину для удельного веса воздуха, а именно эзв-

Вес воздуха можно было определить точнее из вычислений, произведенных Мариоттомъ. Слой или столб воздуха вышиною в 10⁵ м весит столько же, сколько весит слой или столб ртути вышиною в 1 мм. Последний в 10500 раз меньше первого, поэтому ртуть в 10500 раз тяжелее воздуха. Так как ртуть

в 13⁶ раз тяжелее воды, то вода в $\frac{1}{13^6}$ или в 772 раза тяжелее воздуха,

притом воздуха при давлении в одну атмосферу (760 мм) и при температуре 0°, При другом давлении и при другой температуре воздух имеет другую плотность, а следовательно, и другой (удельный) весъ.

Пример 1. Сколько граммов весит 1 кубсм, 1 л и 1 кубм воздуха при 0° и 760 мм?

Пример 2. Вычислить вес воздуха в комнате, в которой находишься.

264. Имя Мариотта встречается и во многих других областях физики. Мы уже видели его в учении о свете (слепое пятно, § 111) и встретим его еще в учении о теплоте и особенно в метеорологии. И в других случаях его деятельность была по преимуществу продолжением и дополнением работъ, начатых другими. Так он продолжил исследования Валлиса, Рена и Гюйгенса об ударе. Прибор Мариотта для изучения удара можно теперь найти во всяком физическом кабинете. Равным образом он продолжил исследования Кастелли (§ 232) и других о движении воды и работы Торричелли над истечением воды (§ 237). „Мариоттовым сосудомъ" нередко пользуются, когда хотят получить равномерное истечение воды из отверстия. Этот сосуд (рис. 258) имеет сбоку внизу отверстие, а в горлышко сосуда сквозь просверленную пробку входит стеклянная трубка, которую можно больше или меньше вдвигать в сосудъ. При вытекании воды через эту трубку входит воздухъ, поднимающийся в воде пузырьками. Пока вытекает вода, давление на нижнем конце стеклянной трубки и, следовательно, и во всем горизонтальном слое, в котором находится этот конецъ, равно одной атмосфере. Таким образом давление, заставляющее воду выходить из отверстия, определяется только высотой этой плоскости над отверстиемъ. Поэтому давление не меняется, пока нижний конец трубки находится в воде. Скорость истечения воды можно легко регулировать передвиганием трубки. Если конец трубки находится на высоте отверстия, то истечение воды, конечно, останавливается.

265. Нагнетательный насосъ, которым воздух сжимается, не обозначил собою поворотного пункта в истории естествознания, как насос для выкачивания воздуха Нагнетательный насос гораздо старше, если только не иметь в виду его современной формы, которую можно построить, как насос для выкачивания, с тою лишь разницей, что клапаны должны открываться в противоположную сторону; цилиндр наполняется при движении поршня вверхъ, при движении же поршня вниз отдает воздухъ сосуду, в котором собирается сгущенный воздухъ.

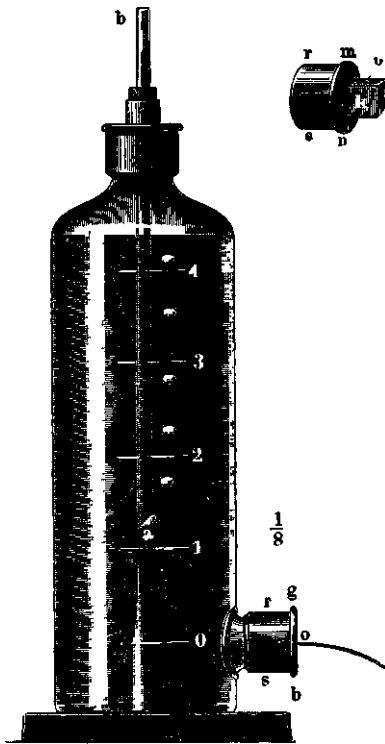
Уже пожарный насос представляет в известной мере нагнетательный насосъ, так как в нем вода сжимает воздух в воздушном резервуаре. Такимъ нагнетательным насосом обладалъ, очевидно, и Ктезибий, который сжимал имъ

воздух в своем пневматическом орудии, и даже детская хлопушка есть род нагнетательного насоса. Передний конец ее трубки (рис 259) наглухо закрыт „пулей" и такая же совершенно пуля вгоняется шомполом в трубку. Когда воздух в трубке достаточно сжимается, передняя пуля с шумом вылетает.

266 Нагнетательные и выкачивающие насосы употребляются очень часто и ниже мы познакомимся с некоторыми их приложениями. Здесь можно привести следующие примеры.

Иногда нужно иметь известные газы в большом количестве, но для эконо-

Рис 258 мш места в ежатом состоянш В такомъ



случае их сжимают в стальных сосудах при помощи нагнетательного насоса

Сжатый воздух обладает, конечно, известною способностью производить работу, которою можно воспользоваться для приведения в движение машин. Такими машинами пользуются при прорывании туннелей. В длинных туннелях пользоваться паровыми машинами для сверлильных работ невозможно, так как они сделали бы воздух туннеля негодным для дыхания. Машина же, работающая сжатым воздухом, постоянно приводит свежий воздух к месту работы. Сжатие воздуха производится вне туннеля при помощи насосов, приводимых в движение обыкновенно водною силой, а сжатый воздух приводится к месту работы особыми трубками. В последнее время таким же образом начали снабжать большие города движущей силой. Большие котлы наполняются вне города сжатым воздухом при помощи воздушных насосов, приводимых в движение паровыми машинами. Сжатый воздух отводит-

ся в город по трубам, где потребители и пользуются им для движения маленьких ма-

шин. Эта система помимо чистоты имеет за собою то преимущество, что одна большая паровая машина работает экономичнее, чем большое число маленьких.

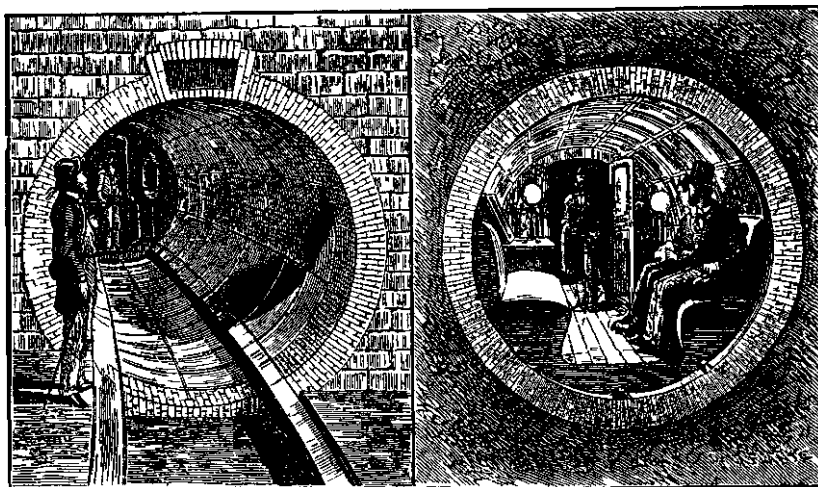
Рис 289

Хлопушка

Еще раньше, уже с начала XIX века в некоторых больших городах развилась особая система пересылки почты, так называемая пневматическая почта. По длинным железным трубам от одной станции к другой давлением воздуха пе-

редвигается как бы пробка с ящиком для писемъ, на конечной станщи отверстие в трубе открывается и почта вынимается Движение этого ящика производится либо при помощи выкачивания воздуха впереди его либо при помощи нагнетания сжатого воздуха позади Этим способом передвижения в некоторых местах пользовались также для перевозки пассажировъ, которые сидели в не очень большом цилиндрическом вагоне, почти совершенно заполнявшем большую трубу (рис 260) Этот способ передвижения, однако, не приобрел большого практического значения

Рис 260



Пневматическая железная дорога в Нью Йорке (1870)

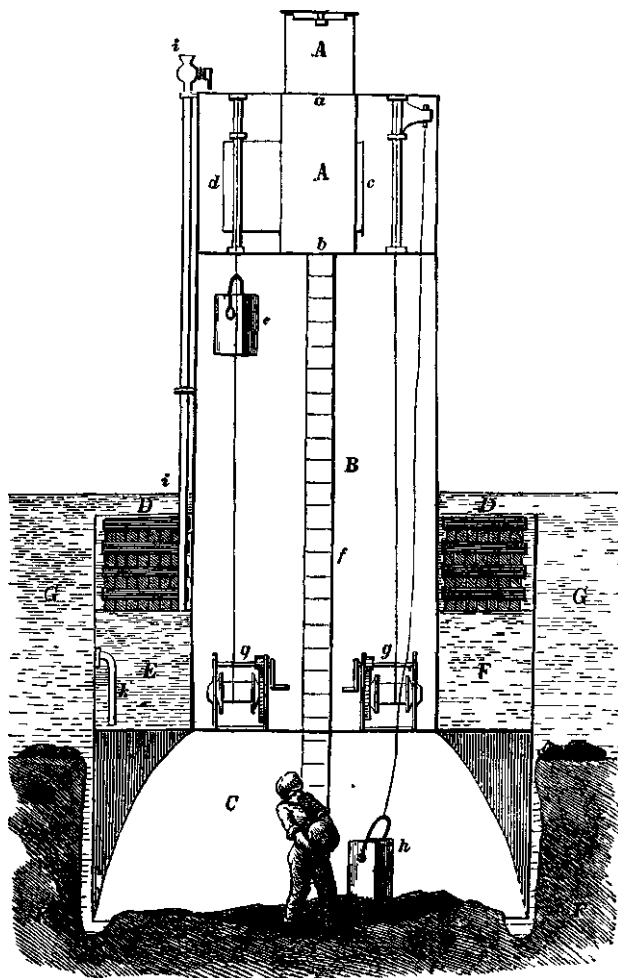
267. Сжатый воздух имеет большое значение при работах под водой Герон обратил внимание на то (§ 209), что внутренность сосуда остается сухой, если погрузить его в воду отверстием вниз. Воздух в сосуде мешает воде войти Этот факт уже в то время был давно известен Еще Аристотель упоминает, что в воде можно оставаться долгое время, если надеть себе на голову котель, но практическое приложение это явление нашло только гораздо позднее Так, в виде курьеза можно привести представлеше, которое в 1538 г два грека дали в Толедо в присутствии императора Карла V и большой толпы Покрывшись с головой большим коиломъ, они спускались в воду с горящею свечою, оставались там продолжительное время и затем выходили из нея с горящею свечою и в сухом платье Только в 1588 г, когда часть испанской „непобедимой Армады“ разбилась на западном берегу Шотландши, были употреблены, повидимому, воздушные колокола для поднятия затонувших сокровищъ

Позднее этот водолазный колокол получал различные формы соответственно тому, для каких целей он предназначался Особые заслуги в отношении постройки водолазного колокола и освежения в нем воздуха принадлежат англичанам Роберту Гуку и Эдмунду Галлею Для последней цели одним из важнейших средств является нагнетательный насосъ

Водолазный колокол развился в двух различных направлениях: во-первых, в виде большого прибора, в котором на дне может работать несколько человек, и затем в виде водолазного костюма, в котором может двигаться только один человек.

Рис. 261 показывает сечение водолазного колокола или кессона, употреблявшегося в 1868 году при перестройке моста в Копенгагене. В общем он пред-

Рис 261



Кессон при постройке моста

ставляет большой открытый снизу железный ящик, в который через особую трубку, посредством паровой машины, нагнетается воздух. Этот воздух вытесняет воду до краев колокола и при дальнейшей работе насоса воздух выходит из колокола и подымается пузырями на поверхность воды. Если нужно опуститься в колокол, то сначала через люк *a* входят в пространство *A*, затем люк

наглухо закрывают и открывают кранъ, через который из *B* выходит сжатый воздухъ. Когда воздух в пространстве *A* приобретает такую же плотность, какую он имеет в *B*, можно открыть люк и спуститься в большой колоколь. Таким же образом при оставлении колокола сначала поднимаются из пространства *B* въ пространство *A*, открывают в нем кранъ, сквозь который выходит воздух и только, когда воздух в *A* принимает плотность внешнего воздуха, покидают пространство *A*. За исключением несколько хлопотливого спуска и подъема, на дне такого колокола можно работать так же легко, как и на сухой земле.

Водолазный костюм (рис. 262) состоит из гуттаперчевого мешка, форма которого соответствует форме человеческого тела (без головы) Сверху в немъ есть большое Рис. 262 отверстие, через которое водо-



лаз влезает в этот мешокъ. Шганины этого костюма снизу совершенно закрыты, рукава же, наоборотъ, имеют отверстия для рукъ. Эти рукава у кисти герметически закрыты, чтобы вода не могла попасть внутрь. Для лучшего закрывания служит гуттаперчевое кольцо в виде браслета. Костюм у шеи зашнуровывается, но не наглухо, так как его воротник входит в металлический шлемъ, который затем одевается на голову. Этот шлем охватывает также плечи и верхнюю часть груди и спины. Он снабжается однимъ или несколькими окошечками и соединяется съ толстостенной гуттаперчевой трубкой, сквозь которую сверху (с палубы судна) непрерывно накачивается свежий воздухъ. Потребленный воздух выходит снизу из-под шлема. —Так как вытесняемая водолазом вода подымает его вверхъ, лишая его почти всего

Водолаз на дне. веса, то он не может стоять твердо на дне.

Поэтому его вес увеличиваютъ, прикрепляя пластинки свинца на подошвахъ, а также на груди и на спине.

Одетый в такой костюмъ, водолаз может спускаться на глубину 30 и более метровъ, но едвали больше 45. Притом он непременно должен быть сильнымъ человеком Он может производить на дне моря важныя работы, снимать ценные предметы с затонувших судовъ, производить предварительную заделку пробоинъ затопившихъ судовъ, может приспособить къ наполненному водою помещению внутри судна гуттаперчевую трубку, сквозь которую затем при помощи нагнетательнаго насоса может накачиваться воздухъ. Этим путем позднее можно поднять судно.

268. С самых древних времен человек не считал совершенно невероятной возможность летать. Почему бы человекъ, которому природа не дала возможности летать, не мог бы достичь при помощи искусства того, что возможно для животных? Открытие, что воздух представляетъ целый океан и что в этомъ

океане каждое тело вытесняется кверху с тем большею силой, чем больше оно само (§ 250), привело к тому, что мысль о возможности летания, или, лучше сказать, плавания в океане воздуха, приняла определенную форму. Иезуит Франческо Лана в Бреше (1631 — 1687) предложил изготовить четыре больших медных шара в двадцать футов в диаметре, со стенками толщиной в V_{23} линии, и выкачать из них воздух. Если высчитать с одной стороны вес такого шара, а с другой силу подъема, действующую на шар такой величины, то окажется, что последняя гораздо меньше первого. Следовательно, еслибы эти шары должны были подыматься на воздухе одни, их стенки должны были бы быть гораздо тоньше; еще тоньше они должны были бы быть для того, чтобы поднять что-нибудь кроме себя. Но уже и указанная Ланой толщина стенок не выдержала бы громадного давления, какое должен был оказать воздушный океан на шар с выкачанным воздухом — этот шар был бы сплюснен.

После открытия водорода, удельный вес которого относительно воздуха составляет приблизительно только V_{15} , нетрудно было придти к мысли наполнить большою шар водородом. Такой шар мог бы иметь стенки гораздо тоньше, чем безвоздушный. И в опытах заставить подняться шар, наполненный водородом, недостатка не было; но долгое время ни один из них не удавался, отчасти по тому, что вещества, из коих делалась оболочка, не были плотны, а отчасти по тому, что они были слишком тяжелы. Удался лишь опыт Кавалло (род. 1749 в Неаполе, ум. 1809 в Лондоне) с поднятием мыльных пузырей, наполненных водородом.

Наконец, двум французам, братьям Жозефу и Жаку Монгольфье, можно сказать, почти случайно удалось изобрести воздушный шар. Это были фабриканты в Видалонь-Лезь-Аннонэ в Севеннах (департамент Ардеш). Здесь они наблюдали, как облака поднимаются по склонам горы и иногда даже переваливают через вершины. Поэтому они попробовали заключить такое облако в большой мешок, для чего заставили подыматься в него пар из котла. Однако, мешок делался влажным и стенки его спадались. Познакомившись позднее с книгой Пристлея о газах, они стали делать опыты с водородом, но также безуспешно. Наконец они получили то, что сочли за особый газ (*gaz de Montgolfier*), сжигая влажную солому. Когда они наполнили этим газом, коим считали более легким, большой бумажный мешок, то мешок поднялся.

Опыт в более значительных размерах, который братья Монгольфье произвели в Аннонэ 4 июня 1783 года с полотняным шаром, имевшим в поперечнике 38 футов и взлетевшим в несколько минут на высоту 1500 футов, возбудил большое изумление. Когда вести об этом опыте достигли Парижа, здесь тотчас же собрали деньги для повторения опыта. Производство его было поручено Жаку Шарлю. Шарль родился в 1746 году, обучался художеству и механике, производил много опытов с электричеством и читал превосходные лекции об этой новой науке. Так как он ничего не мог узнать о газе, которым пользовались братья Монгольфье, кроме того, что он вдвое легче атмосферного воздуха, то решил воспользоваться водородом. Был приготовлен шар с поперечником в 12 футов, наполненный водородом, получение которого в таком большом количестве в то время представляло серьезную процедуру. 27 августа

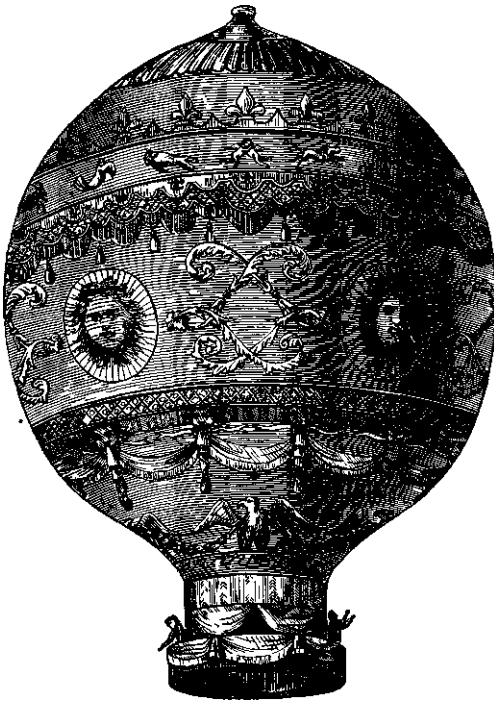
того же года готовый шар был выпущен и быстро поднялся в воздух. Население Парижа наблюдало это зрелище с необычайным интересомъ.

Так на коротком промежутке четверти года были изобретены оба рода воздушных шаровъ: наполняемые теплым атмосферным воздухом „монгольфьеры" и наполняемые водородом или светильным газом „шарльеры". Последний газ добывается легче водорода, по весу приблизительно вдвое легче воздуха, веся почти как раз столько, сколько и теплый газъ, которым наполняются монгольфьеры.

269. Уже в том же году на воздушных шарах стали подниматься и люди, как на монгольфьерахъ, так и на шарльерахъ. Для помещения пассажиров слу-

жила прикрепленная к шару лодочка.

Рис. 263



изволу, разводя ббльший или меньший
Монгольфьеръ огонь под бльшим отверстием въ
нижней части шара. Однако, опасность

от огня слишком велика. При поднятии на шарльере подъем шара возможен только при помощи выбрасывания взятых заранее мешков баласта. Для опускания шара приходится терять часть газа, выпуская его через клапанъ. Ни того ни другого, в виду ограниченности запаса песка и газа, нельзя повторять слишком часио.

270. Величайший недостаток воздушных шаров состоит в томъ, что ими нельзя управлять и что они должны следовать за течениями воздуха (ветрами). Къ этому присоединяется еще то обстоятельство, что спуск на землю нередко сопряжен с опасностью. В последнем отношении неудобство представляет уже и то, что воздухоплаватель лишь въ незначительной степени может выбирать место спуска. Затем скорость при приближении к земле вообще очень велика. Уже „свежий" ветер имеет скорость 3 миль в часъ, а скорость шара одинакова со ско-

21 ноября поднялись на монгольфьере (рис. 263) химик Пилатр де Розье и маркиз Д'Арландъ, 3 декабря на шарльере поднялись сам Шарль и его мастер Робер (рис. 264). Эти полеты прошли счастливо, но при продолжении опытов с Розье в 1785 году произошло несчастье: на высоте приблизительно 600 метров над землею его шар загорелся и он вместе со своим спутником физиком Ромэнномъ погибли при падении. Шарль позднее также предпринимал полеты со счастливym исходомъ. Он умер в 1823 году.

Судьба Розье должна была предостеречь от пользования монгольфьерами для полета людей. Однако, монгольфьеры имеют передъ шарльерами то преимущество, что их можно заставлять подыматься или опускаться по про-

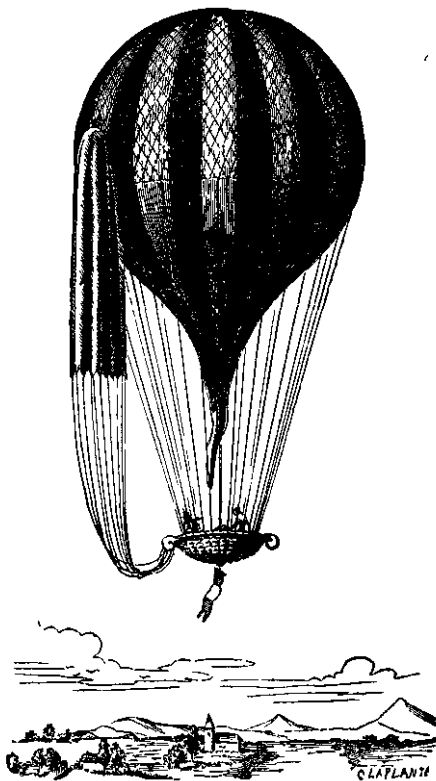
ростью ветра. В силу последнего воздухоплаватели даже во время бури чувствуютъ вокруг себя штиль.

Что касается управления шарами, то, само собой разумеется, такихъ опытовъ было сделано очень много. Собственно говоря, устройство приспособлений, которыя могли бы двигать шар в любомъ направлении, само по себе не было бы трудно, если-бы только у насъ въ распоряжении была движущая сила, которая могла бы сообщить шару достаточно большую скорость. Но достигнуть этого трудно, не отяготив шар громоздкой машиной. Поэтому стремления изобретателей были обращены прежде всего на то, чтобы создать возможно легкий, но сильный двигатель. До сих поръ, однако, удавалось только держаться противъ слабого ветра или иногда преодолевать его

Такъ какъ сила, которая должна приводить шар в движение противъ ветра, в виду значительной величины шара должна быть соразмерно большою, то в последнее время за эту задачу принялись с совершенно другой стороны. Теперь начинаютъ, отказываясь отъ принципа плавания, обусловленного вытеснениемъ воздуха, подражать полету птицъ, при которомъ играетъ роль сопротивление воздуха поверхности крыльевъ. Этимъ сопротивлениемъ можно с выгодой пользоваться особенно при большой скорости.

Воздушный шар с тех поръ, какъ он стал извѣстенъ, употреблялся не только для удовольствия; он нашелъ практическое приложение в несколькихъ войнахъ и оказалъ хорошия услуги при полетахъ с научными целями. Когда дело идетъ о значительныхъ высотахъ, то во всякомъ случае механический летательный приборъ не можетъ вступать в состязание с воздушнымъ шаромъ. Наибольшей высоты, 10000 Лѣ достигли в 1862 г. англичане Глэшеръ и Коксвелль. На этой высоте давление воздуха составляло около $\frac{1}{4}$ атмосферы (§ 262).

Рис. 264



Шарльеръ.

Мірозданіє

Свѣдѣнія и открытія послѣ 1630 г.



Сведений и открытия после 1630 г.

Земной шарь

271. После открытия Америки западно-европейцы—как в свое время греки (Эратос енъ, § 28, и Посидоний, § 52) и магометане (Аль-Мамунъ, § 57) — стали пытаться измерить величину земного шара. Уже давно было известно, какъ можно определить разность широт двухъ местъ. Для этого нужно только определить в этихъ местахъ высоты полюса и взять ихъ разность (§ 46). Значительно труднее определить расстояние двухъ местъ в линейной мере.

Одинъ уважаемый парижский врачъ Жанъ Фернелъ произвел такое измерение в 1525 г. Для этого он проехал изъ Парижа в Амьенъ и сосчитал число оборотовъ колесъ своего экипажа. Такъ какъ его путь не всегда шел по прямой линиИ, то ему пришлось несколько исправить полученную длину пути. Он нашелъ для длины градуса широты довольно точное значение 57 070 туазов (1 туазъ = 6 парижскимъ футамъ $\approx$ 1,949 м).

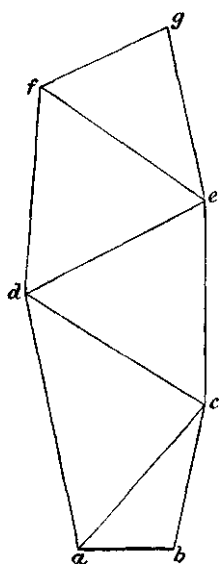
Следующее измерение произвел в 1615 г. голландецъ Снеллиусъ (§ 106). Главная его заслуга состояла в томъ, что он ввелъ при этомъ измерении способъ триангуляциИ. Способъ триангуляциИ основанъ на томъ, что для определения треугольника и вычисления всехъ его частей достаточно знать одну сторону и два прилежающихъ к ней угла (§ 23). Если сначала измерить на ровномъ и удобномъ месте линиЮ ab (рис. 265), то дальше линИЙ можно уже не мерять, а все остальное можно получить при помощи угловыхъ измерений и вычислений. Для этого выбираютъ более заметные пункты местности, часто далекие другъ от друга, однако такие, чтобы из одного пункта можно было видеть другИе. В этихъ пунктахъ устанавливаются шесты или другИе сигналы, на которые направляется угломерный приборъ. Измеривъ в треугольнике abc углы a и b (для контроля также, пожалуй, c), можно вычислить и сторону ac . Принявъ эту линиЮ за основание треугольника acd , измеряютъ углы этого треугольника, вычисляютъ cd и т. д. Когда такимъ образомъ весь промежутокъ между двумя станциями заполненъ известными треугольниками, можно вычислить и расстояние этихъ станций.

Позднее такИя измерения были произведены англичаниномъ Норвудомъ и итальянцемъ Риччиоли. Первый нашелъ, что градусъ равняется 57424 туазамъ, последний—61478 туазамъ. Такъ какъ результаты этихъ измерений сильно отличались другъ от друга, то в 1667 г. Людовикъ XIV поручилъ произвести новое градусное измерение физИку Жану Пикару. Пикаръ родился в 1620 г. в городе Ла-

флешь, был одним из первых семи членов Парижской академии и умер в Париже в 1682 г. Пикар нашел для длины градуса очень точное значение 57060 туазовъ. Кроме того, ему принадлежит большая заслуга, что он производил измерения углов не просто при помощи визира, а при помощи инструмента, который был снабжен зрительной трубой с перекрестными нитями (§ 204).

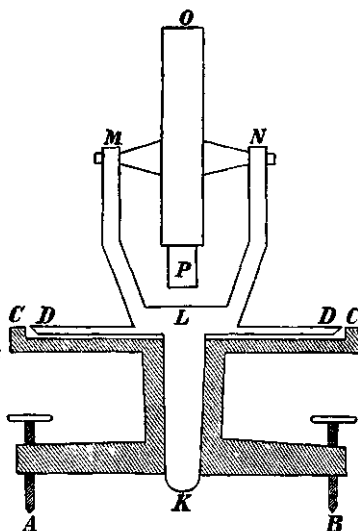
272. Это составило существенный шаг в конструкции так называемого теодолита, которым пользуются для различных целей, особенно при геодезических измеренияхъ. Рис. 266 представляет вертикальное сечение теодолита. Зашифрован-

Рис. 265



Триангуляция.

Рис. 266



Теодолить.

ная часть представляет прочный штатив с просверленным вертикально отверстием и с кольцеобразной частью *CC*, снабженной тонкими делениями. Внутри этой части, плотно прилегая к ней, находится второй круг *DD*, наглухо скрепленный с вилкой *KLMN*. Коническая ось *K* вращается в отверстии штатива, а вилка имеет подставки для оси зрительной трубы *P O*. При помощи трех установочных винтов в ножках штатива, из которых два (*L* и *B*) видны на рисунке, можно установить инструмент такъ, чтобы его ось *KL* была вертикальна; в последнем можно убедиться при помощи уровня (рис. 267), который накладывается

Рис. 267



Уровень.

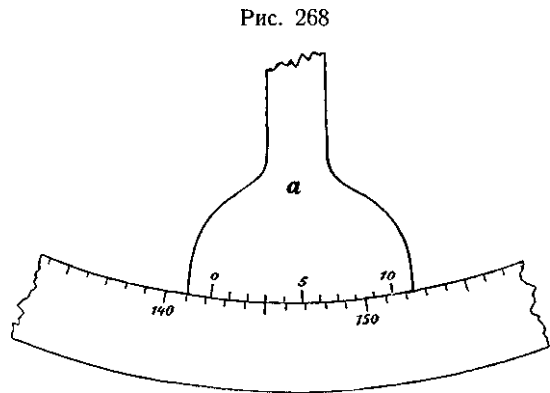
на ось трубы. Именно, ось *KL* будет вертикальна, если при вращении подвижной части инструмента на полный оборот пузырек уровня не будет перемещаться. Горизонтальность оси трубы можно определить, перекладывая уровень.

При помощи зрительной трубы с перекрестными нитями можно чрезвычайно точно

визировать на сигнал далекой станции. Затем нужно определить положение этого сигнала на круге *D* относительно делений круга *C* и притом возможно точно,—гораздо точнее, чем позволяет непосредственный отсчет штрихов разделенного круга.

273. Необходимая точность достигается при помощи так называемого нониуса. Это приспособление получило свое название от имени португальца Педро Нуньеса, который в 1542 г. описал другое приспособление для той же цели. Региомонтан и Тихо Браге также пользовались различными средствами, при помощи которых они старались добиться подобной же точности отсчетов (ср. рис. 41). Настоящий нониус, который у французов справедливо называется „верниером“, в первый раз описывается в книге, изданной в 1630 г. Пьером Вернье или Петером Вернером (1580—1631).

Устройство этого важного приспособления, имеющего различные формы соответственно инструменту, часть которого оно составляет, и соответственно делениям инструмента, показано на рис. 268. Само собою разумеется, его можно сделать и на прямом масштабе. На подвижной части *a* находится нулевая точка. Сначала отсчитывается предшествующий ей целый градусный штрих, на нашем рисунке 142° . Долю градуса, которую нужно прибавить к 142° , можно получить при помощи нониуса следующим образом. На подвижной части *a* нанесен отрезок, равный 9 градусам неподвижных делений; но здесь он разделен не на 9, а на 10 равных частей. Таким образом, каждая из этих частей равна $\frac{9}{10}$ градуса. Один из штрихов неподвижных делений всегда будет совпадать (более или менее точно) с одним из штри-



Нониус.

хов нониуса. На рис. 268 так совпадает третий штрих нониуса. Поэтому точный отсчет будет $142'3''$. В самом деле, так как со штрихом неподвижных делений совпадает штрих 3, то штрих 2 удален от соответственного штриха неподвижных делений на V_{10} , штрих 1 на $\frac{2}{10}$ и штрих 0 на $\frac{3}{10}$ —

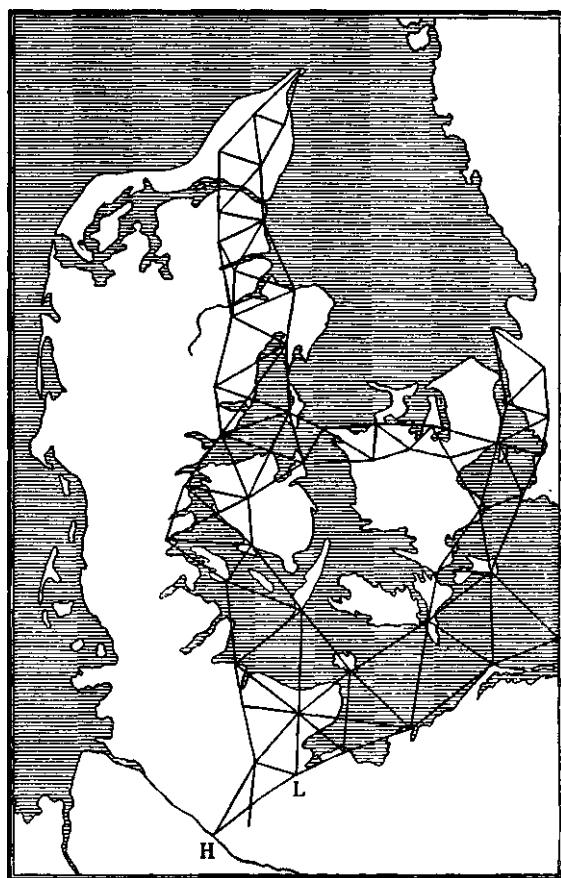
274. Рис. 269 дает представление о датском градусном измерении, сделанном в XIX столетии. Первоначальная основная линия (базис) этой сети так мала, что ее нельзя было представить на этой карте. Это была линия длиною в 2500 м на острове Амагер, измеренная при помощи четырех стальных брусков (жезлов). Жезлы осторожно укладывались один на продолжении другого в горизонтальном положении, но не касаясь друг друга. Величины промежутков между ними определялись при помощи стеклянного клина известных размеров, который вкладывался между ними.

Как показывает эта карта, визировки можно производить на далекие расстояния, так что требуется сравнительно небольшое число треугольников, чтобы связать

Швецию через датские острова в восточной Ютландии со Скагеномъ, через Малый Бельтъ с Гамбургом или вдоль Зунда через южные датские острова с Мекленбургом и оттуда с Гамбургомъ.

275. При упомянутых до сих пор измерениях предполагалось, что земля есть шаръ, что она, следовательно, имеет везде одинаковую кривизну. Но одно случайное наблюдение заставило усомниться в этомъ. В 1671 г. Парижская Академия послала одного из своих сочленовъ, Рише, в Кайену, в Южной Америке, где он должен был произвести некоторыя астрономическия наблюдения. Въ

Рис. 269



Датская градусная сеть.

числе его приборов были между прочим часы с маятникомъ, которые до отъезда шли верно, но в Кайене стали отставать на две минуты в сутки. Рише должен был укоротить маятник на IV_4 линии, чтобы часы снова шли верно. Когда в 1673 г. он вернулся в Парижъ, оказалось, что его часы стали уходить вперед на 2 минуты в сутки, и для того, чтобы часы снова шли верно, маятникъ пришлось опять удлинить на $1\frac{1}{4}$ линии.

То же сообщалось и о часах с маятниками, которые на берегах Африки и в Вест-Индии ИИИли слишком медленно. По общепринятому тогда взгляду единственной причиной замедления хода часов с маятниками было удлинение маятника в тропических странах под влиянием иепла.

Изобретатель часов с маятником Гюйгенс, вычисливший также центробежную силу (§ 174), понял, однако, что действие теплоты недостаточно для объяснения этого явления и что главная причина отставания часов совсем иная. Именно, центробежная сила, обусловленная вращением земли вокруг оси, больше всего на экваторе; кроме того, она направлена здесь в сторону, прямо противоположную силе тяжести. С уменьшением же силы тяжести маятник должен качаться медленнее и часы должны отставать. — Вычисления Гюйгенса подтвердили правильность этого объяснения.

276. Гюйгенс стал исследовать действие центробежной силы в других местах земной поверхности, например, в местах средней широты (рис. 270). В точке *a* она, очевидно, должна иметь направление *oa*, перпендикулярное к земной оси *ng*. Но силу *oa* можно разложить на две составляющих *ob* и *oc*. Первая из них уменьшает силу тяжести, а последняя стремится отталкивать предметы к экватору, что непременно должно обнаружиться в распределении воды (в море). Именно, последняя должна скопиться в экваториальных областях и море должно иметь форму, соответствующую сплюсненному шару. Разстояние между полюсами должно быть меньше поперечника экватора. А так как форма суши мало отличается от формы моря—даже самые высокие горы имеют немногим больше одной мили в высоту—, то весь земной шар должен иметь сплюсненную форму. Гюйгенс наглядно пояснял это, укрепляя на оси мягкий глиняный шар и приводя его во вращение. При вращении этот шар сплющивался.

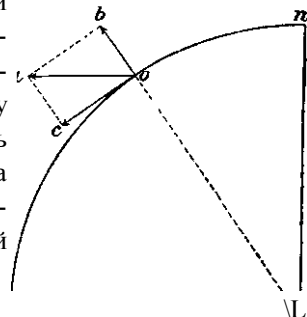


Рис. 270

Гюйгенс вычислил величину сжатия земли и нашел для нея $\frac{1}{578}$ ^{иной}ми словами, экваториальный поперечник земли должен быть на $\frac{1}{578}$ больше полярного; с другой стороны Ньютон нашел для этого сжатия приблизительно вдвое большую величину, а именно $\frac{1}{300}$.

Такая большая разница этих результатов объясняется тем, что Гюйгенс соединял всю силу тяжести в центре земли, тогда как Ньютон распределял ее равномерно по всей массе земного шара. Ни то ни другое предположение не верно. Поэтому действительная величина сжатия лежит между теми числами, которые нашли Гюйгенс и Ньютон. Оно приблизительно равно $\frac{1}{300}$ (точнее $\frac{1}{299}$).

277. Точное определение этой величины потребовало, однако, довольно много времени. Так как его нельзя было вывести из измерений, сделанных раньше, то министр Людовика XIV Кольбер под влиянием Пикара приказал произвести градусное измерение к северу и к югу от Парижа. Выполнение этого измерения было поручено в 1680 г. наиболее выдающимся членам академии. По смерти

Кольбера работа остановилась и между 1683 и 1700 гг. совсем не двигалась вперед; она была окончена только в 1718 г. Эта работа дала следующие результаты: дуга от Парижа до Дюнкирхена простиралась на $2^{\circ}45'50''$, дуга от Парижа до Коллиура (на испанской границе) на $6^{\circ}18'47''$. Длина одного градуса на первой дуге получилась в 56960 туазовъ, на другой в 57097 туазовъ.

Разница в длинах одного градуса на этих двух дугах была тотчас же сочтена Кассини и другими за доказательство того, что земля не представляет собой точного шара. И так как кривизна должна быть меньше всего тамъ, где градусы имеют наибольшую длину, то ея кривизна вблизи экватора должна быть меньше, чем кривизна дальше к северу. Таким образом выходило, что земля растянута в направлении своей оси вращения.

Тем временем Гюйгенс уже умеръ, Ньютон был старъ. Но соотечественники последнего вступили в спор с французами, утверждая, что эти измерения ошибочны и что земля должна быть сплюснута у полюсовъ.

278. Измерение дуги по долготе, предпринятое в 1733 и 1734 гг. от западного берега Бретани до Страсбурга, казалось, также говорило в пользу мнения французовъ. Но это не убедило англичанъ. Отклонение было так ничтожно, что изъ него нельзя было вывести достоверного заключения. Тогда, по докладу академии минисир Людовика X Морепе предложил наконец ИИрсизвести градусное измерение в совершенно различных странахъ. Морепе получил разрешение от испанского правительства произвести измерение на испанской территории в Перу. Въ 1735 г. туда отправилась большая экспедиция под начальством Кондамина, Годена и Бугера и двух испанских морских офицеровъ. Экспедиция встретила разнообразныя затруднения и ей пришлось долго свыкаться с местными условиями. В 1741 г. члены экспедиции пришли только к тому, что по общему согласию решили бросить все сделанное до тех пор и начать сначала.

Теперь работа двигалась успешно, но между членами экспедиции возник разладъ. В один прекрасный день в 1744 г. Бугер исчезъ. Он отправился на родину через Мексику и Кондамин узнал об этом только спустя шесть недель, такъ как он находился на другом конце дуги. Кондамин отправился на реку Амазонку, произвел основательную съемку ея и вернулся домой в 1746 г. Испанские офицеры вернулись кругом мыса Горна. Один из нихъ, Уллоа, попал в руки англичан и был отвезен в Лондонъ, где его, однако, тотчас же выпустили на свободу. Только Годен оставался до 1748 г. в Перу, где ему пришлось пережить большое землетрясение. Лишь в 1750 г. он вернулся домой через Буэносъ Айресъ. Здесь он получил место учителя и умеръ, не изготавив отчета. Остальные участники спорили друг с другом самым упорным образомъ, пока, наконецъ, не согласились опубликовать, как результат своих работъ, следующее. Измерив около $Г'_{2}^{\circ}$ к северу и $Г'^{1/\wedge 0}$ к югу от экватора, всего $3^{\circ}7'4''$, они получили для длины градуса:

Бугер	56753	туаз.,
Кондамин	56749	„ ,
Уллоа	56768	„.

Так как это измерение производилось на плоскогорье, то его результатъ

нужно было еще привести к уровню моря. В конце концов для длины одного градуса экватора была получена величина 56732 туаза.

279. Еще раньше, чем стал известен этот результат, академия в 1736г. решила, по предложению находившагося тогда в Париже Цельсия, предпринять градусное измерение на севере. Экспедиция, во главе которой стал Мопертюи, отправилась в Лапландию, где и был измерен один градус, преимущественно по льду, при помощи шведского правительства и при содействии Цельсия. Уже в 1737г. экспедиция вернулась с результатом, что один градус близ Торнео под полярным кругом имеет в длину 57437 туазовъ. Эта величина во всяком случае несколько больше той, которую нашли позднее шведы, именно 57196. Однако, по окончании работ экспедиции в Перу для длины градуса имелись следующие величины:

	под $66^{\frac{1}{2}}_2$ сев. широты	. . .	57437 туазовъ,
, 45		„ . . .	57023 „
О		„ . . .	56732 „

Теперь все сомнения были устранены. Французы доказали, что правы были Гюйгенс и Ньютонъ.

Наконец, в 1792 г., согласно решению Национального Собрания, была начата новая большая экспедиция, градусное измерение, охватывавшее дугу меридиана, шедшую через всю Францию и Испанию вплоть до Форментеры (на Питиузских островахъ). И здесь, хотя не столь резко, обнаружился тот же закон кривизны земли.

280. Последнее измерение было предпринято для определения новой меры длины: часть меридиана (четверть) от полюса до экватора должен был иметь 10 000 000 метровъ. Коммиссия французских математиков уже раньше высказывалась в пользу такого определения. Более раннее предложение Гюйгенса принять за единицу длины секунднй маятник (третья часть его длины должна была называться временным футомъ, *Zeitfuss*) было отброшено, так как оно вводило другое понятие (время). По окончании градусного измерения и необходимых вычислений, метр был определен в 1799 г. как равный длине 443'296 линий. В том же году в Париже в *Bureau des Longitudes* был положен на сохранение основной образцовый метр изъ платины. Позднее выяснилось, что величина 443'296 не вполне точна и что 10000000-ая часть четверти меридиана равна 443'334 линиямъ. Однако, раз определенная величина метра удержалась и таким образом четверть земного меридиана имеет не ровно 10000000, а 10 000 856 м.

281. Одно из главных преимуществ метрической системы мер представляет то, что она является чисто десятичной системой, т. е. что в ней все более крупные и мелкие меры образуются из основной единицы увеличениями или уменьшениями в десять разъ:

1 километр¹⁾ — 1000 метрамъ, 1 дециметр²⁾ = 0-1 метра,
 1 гектометр = 100 „ 1 сантиметр = 0-01 „
 и декаметр = 10 „ 1 миллиметр = 0-001 „

Для мер поверхности и объема служат квадратный метръ, квадратный сан-

¹⁾ Греческия названия для 1000, 100, 10.

²⁾ Латинския названия для 10, 100, 1000.

тиметръ, кубический метръ, кубический сантиметр и т. д. Кубический дециметр называется литромъ. Таким образом кубический метр есть также килолитр (10 гектолитровъ).

Единица веса грамм есть вес кубического сантиметра дистиллированной воды при 4°C , т. е. при температуре ея наибольшей плотности. Следовательно, литръ воды весит один килограммъ. Имена кратных весов и долей грамма следующие:

1 килограмм = 1000 граммъ, 1 дециграмм = 0'1 грамма,
 1 гектограмм = 100 „ 1 сантиграмм = 0*01 „
 1 декаграмм = 10 „ 1 миллиграмм — 0'001 „

Скорость света

282. К числу замечательных людей, которых привлекла, к себе французская академия, принадлежал итальянец Джованни Доменико Кассини. Он происходил из знатной семьи и родился в 1625 г. в Перинальдо близ Ниццы. По окончании учения в Генуе и Болонье Кассини стал профессором астрономии въ последней. Здесь он производил различныя астрономическя работы и публиковалъ таблицы спутников Юпитера. По предложению Пикара, обратившого внимание на работы Кассини, последний был приглашен в Париж в качестве члена Академии и королевского астронома. В 1669 г. Кассини переехал в Парижъ.

Здесь в течение ближайшихъ 41 года Кассини произвел массу работ на обсерватории, открыл между прочим четырех спутников Сатурна¹⁾ и опубликовалъ в изданиях академии не менее 176 статей. Он умер в 1712 г. и стал родоначальником целого ряда замечательных ученых, которые все были членами Академии. Трое из них, подобно родоначальнику, были директорами Парижской обсерватории, — сын наследовал отцу три раза. Имена этих потомков Доменико Кассини были следующие:

Жак Кассини, 1677—1756..

Сезар Франсуа Кассини, 1714—1784.

Жак Доминик Кассини, 1748—1845.

С последним род угасъ. Его единственный сын Александр Анри Габриель Кассини, ботаникъ, умер уже в 1832 г., не оставив наследника.

283. По предложению того же Пикара приехал в Париж и другой ученый Оле Рёмер (рис. 271).

Для того чтобы лучше использовать наблюдения Тихо Браге, которыя, несмотря на изобретение зрительной трубы, сохраняли свое неоценимое значение и въ следующие века, в 1671 г. в Копенгаген приехала французская экспедиция подъ руководством Пикара съ целью точного определения меридиана Раненбурга. Пикарьъ былъ чрезвычайно подходящий человек для такой работы, так как имел в распоряжении хорошия инструменты и имел опытъ, необходимый для такого рода наблюдений, из выполненного незадолго перед тем градуснаго измерения (§ 271).

¹⁾ Из восьми спутников Сатурна шестой был открыт Гюйгенсом (1655), восьмой (1671), пятый (1672), третий и четвертый (1684) Кассини, первый и второй (1789) Гершелемъ и седьмой (1848) Бондомъ

КОГДА по этому поводу он вошел в сношения с властями в Копенгагене, ему рекомендовали в качестве помощника при производстве градусного измерения молодого Ремера.

Оле Ремер родился в 1644 году в Аариузе, посещал местную соборную школу, а затем учился в Копенгагене. Здесь в числе его учителей был

Рис 271



Оле Ремеръ.

Разм Бартолин (1625—1698), открывший двойное преломление света в исландском известковом шпате. Ремер помогал Бартолину в издании наблюдений Тихо Браге и Бартолин рекомендовал его Пикару в качестве помощника.

По окончании работ на острове Гвене Ремер поехал с Пикаром в Париж. Здесь он скоро стал членом Академии и учителем математики дофина. Он принимал участие в устройстве фонтанов в Версали и в Марли, изобре-

тал различные инструменты и ему же, между прочимъ, принадлежит заслуга указания правильной формы зубцов зубчатого колеса (эпициклоида). Наибольшее значение имеют его астрономическія наблюдения, которыя он производил совместно с Пикаром и особенно с Д. Кассини.

При этих наблюдениях дело состояло в измерении промежутков времени между двумя последовательными вступлениями спутников Юпитера в тень планеты или выходами из нея. Это явление, которое можно наблюдать при помощи самых слабых зрительных трубъ, представляет интерес и само по себе в смысле определения времен обращения спутников Юпитера. Скоро, однако, заметили также, что это явление, будучи достаточно изучено, при известных вычислениях может оказать большія услуги моряку и путешественнику.

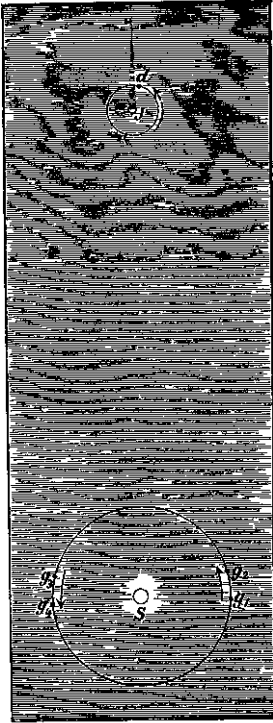
Именно, вступление какого-нибудь спутника Юпитера в тень наблюдается въ одно и то же время во всех местах земли. Поэтому уже Галилей предлагать пользоваться этим явлением для определения географическаго положенія, как некоторога рода мировыми часами, подобно тому, как Гиппарх пользовался лунными затмениями (§ 47). Затмениями спутников Юпитера, однако, можно пользоваться гораздо шире, так как это явление можно наблюдать почти каждый день. Юпитер имеет большую поверхность, а плоскости орбит его спутников так близко совпадают съ его собственной, что три ближайших к нему спутника должны проходить через его тень при каждом обороте около планеты. Даже четвертый спутник чаще проходит через тень, чем минует ее. Еслибы было возможно предвычислить точныя таблицы моментов этихъ явлений, то оне могли бы оказать моряку ту же услугу, как и хороший хронометръ. Это вычисление, однако, не совсем просто, так как вследствие эллиптичности орбит Юпитера и его спутниковъ эти явления повторяются в не совсем одинаковыя промежутки времени.

Кассини и Ремер взялись за эту работу и между обнаруженными неправильностями оказалось и то, что время между двумя затмениями одного и того же спутника в одно время Иода несколько короче, чем в другое. На рис. 272 пусть S будетъ солнце, E земля в различныхъ положеніях на орбите, J Юпитер и d один из его спутниковъ. Оказалось, что время между двумя затмениями, когда земля находится в g^1g_2 , меньше того времени, когда она бываетъ въ g^1g^1 . А так как нельзя допустить, что положеніе земли оказываетъ действительное влияние на спутниковъ Юпитера, то Кассини и Ремер предположили, что в основе этого явления лежит то, что земля в положеніи $\wedge_1 \wedge_2$, так сказать, идет навстречу свету и что поэтому, когда мы доходим до положенія $\wedge_2$, явление происходитъ раньше, чем было бы в том случае, еслибы мы оставались в положеніи $\wedge_1$. Напротивъ, если земля движется от $\wedge_3$ к $\wedge_4$, то светъ, настигающій нас только въ g_4 , долженъ доходить несколько позднее, чем в том случае, когда мы оставались бы в точкѣ $\wedge_3$. Перемещеніе же из $\wedge_1$ в g^1 всетаки довольно значительно. Земля проходит по своей орбите приблизительно 4 мили в секунду, а время обращения ближайшаго к планете спутника, который движется быстрее всехъ, составляетъ приблизительно 42 5 часовъ. Таким образомъ, земля проходит между двумя последовательными затмениями этого спутника 42-5х60х60х4, т. е. около 600000 миль. Следовательно, затмение в $g^\pm$ должно происходить приблизительно на 15 секундъ раньше, а в $\wedge_4$ на 15 секундъ позднее, чем следовало бы.

Когда Кассини в первый раз делал об этом доклад в Академии, съ различных сторон посыпались возражения против его взглядовъ.

По предложению Галилея Accademia del Cimento пыталась определить скорость света, для чего два наблюдателя, находившиеся на расстоянии одной мили друг от друга, закрывали экранами светъ. В определенное время один из них удалялъ экранъ, а другой, как только замечал светъ, должен был удалять свой экранъ. Время, протекавшее от того момента, в который первый наблюдатель удалялъ экранъ, до того момента, когда он замечал свет от второго наблюдателя, и

Рис. 272 должно было предс гавлять время, нужное свету для про-



хождения дважды расстояния между наблюдателями. Этотъ опытъ, однако, не привел ни к какому результату, такъ как получавшийся промежуток времени, повидимому, был как раз такой, какой был необходим наблюдателямъ, чтобы произвести нужныя движения. Большинство ученых придерживалось несколько странного утверждения Декарта, что свет распространяется мгновенно. Кассини оставил дело на этомъ, но Ремер не бросил его. Он продолжал свою работу и в 1675 г. представил Академии дальнейшия доказательства правильности своего взгляда. Теперь даже Кассини был въ числе его противников и только небольшое число членов Академии, между ними, однако, Гюйгенсъ, стали на его сторону. Лишь в следующем столетии должно было обнаружиться, что Ремер был прав и что свет распространяется в пространстве со скоростью 300000 км в секунду. Несмотря, однако, на такой оборот дела, никто не мог оспаривать у Ремера чести первого открытия скорости света.

Уже в 1675 году Ремер приобрел своими работами такую известность, что ему предложили кафедру в Копенгагенском университете. Но он переехал въ Копенгаген только в 1681 г., после уничтожения Нант-

Затмения спутников Юпитера.
(вид с земли).

ского Эдикта; здесь он работал очень много как въ области науки, так и в области административной. Онъ

был сделан членом Верховного Суда и начальникомъ полиции в Копенгагене. Ему принадлежит заслуга введения общаго мѣры и веса во всей стране, улучшения дорог и сношений, освещения улиц и организации пожарнаго дела в Копенгагене, в монетном и податном деле и во введении григорианскаго календаря (§ 19), последовавшем в 1600 г. Несмотря на эту многостороннюю деятельность в административной сфере, Ремер находил время и для астрономических наблюдений, которыя он производил частью на Круглой Башне, частью на своей собственной обсерватории при загородномъ доме. При этом Ремер обладал необыкновенной изобретательностью. После его смерти в 1710 г. в обсерватории было найдено 54 инструмента, изобретенных и отчасти построенных им самимъ, так что его называли даже севернымъ Архимедомъ. Он изобр-

рел большую часть типичных форм астрономических инструментов, употребляющихся еще и теперь. Ремер умел такъ. хорошо пользоваться этими инструментами и пользовался ими так прилежно, что его в этом отношении можно назвать достойным преемником Тихо Браге. Он оставил после себя массу превосходных наблюдений, предназначавшихся по преимуществу для нахождения параллакса неподвижных звезд (СМ. § 70). Как и Браге, Ремер не успел заняться обработкой своего громадного наблюдательного материала, хотя он имелъ великолепного помощника, как Тихо имел Кеплера. Этим помощником был Петр Горребовъ, родившийся в 1679 г. в Лёкстёре (Ютландия), в семье одного бедного рыбака. С 1703 года он изучал в Копенгагене богословие и медицину и познакомился с Оле Ремеромъ, который преподавал ему математику и физику. Горребов помогал Ремеру в астрономических наблюденияхъ, которыя продолжалъ и после его смерти. К сожалению, его рукописи погибли во время большого пожара в 1728 г. Горребов бежал из своего дома на обсерватории. Но когда онъ увидель, что ветер поворачиваетъ, так что опасность угрожает обсерватории, то он сложил работы свои и Ремера в два ящика и пытался обезопасить ихъ, что, однако, ему не удалось. Только ничтожная часть наблюдений Ремера была спасена и позднее обработана несколькими астрономами, главным образом Галле из Берлина (1845). — Горребов умер в 1764 году.

Нельзя, конечно, удивляться, что правильность определения скорости света, сделанного Ремеромъ, не раз подвергалась сомнению, так как движение спутниковъ Юпитера представляет крайне сложное явление, — здесь действует одновременно много влияний.

284. Совершенно иной путь определения скорости света избрал Джэмс Брайлей. Брайлей родился в 1692 г., изучал в Оксфорде богословие и в 1719 году стал диаконом в Ванстэде. Здесь он начал заниматься математикой и астрономией и сделал в этих науках такие успехи, что в 1721 г. был приглашенъ в Оксфорд в качестве профессора астрономии; впрочемъ, здесь у него не было сколько-нибудь значительных вспомогательных средствъ.

Уже Коперник пытался доказать существование параллакса неподвижных звездъ, т. е. годичное смещение их вследствие движения земли вокруг солнца. Но его измерительные приборы были слишком неточны для того, чтобы ими можно было доказать такое движение. Позднее Пикарь, Флэмстидъ, первый директоръ обсерватории в Гриниче, устроенной Карлом II, и другие астрономы производили такія наблюдения. Они, правда, наблюдали небольшія изменения в положениях некоторых звездъ, но не поняли их сущности. Быть можетъ, наблюдения Ремера выяснили бы этот вопросъ, но к несчастью они погибли.

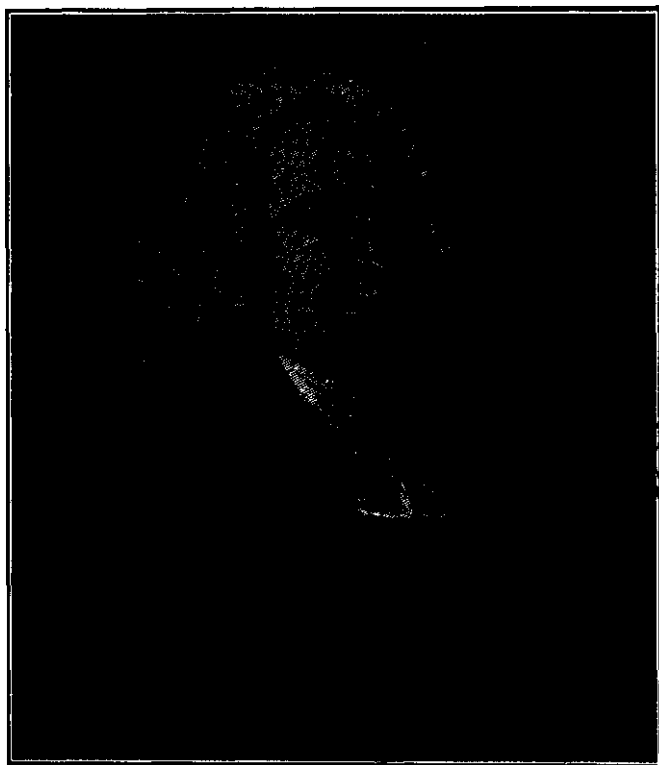
В это время Брайлею приходилось часто встречаться с Самюэлем Молинё, владельцем частной обсерватории в Кью, снабженной хорошими инструментами. Молинё заказал инструмент для измерения зенитных разстояний (зенитальный секторъ), на котором можно было отсчитывать углы с точностью до одной секунды. С этим инструментом Молинё в 1725 г. начал наблюдения звезды γ в созвездии Дракона, в которых принял участие также Брайлей и которыя продолжались целый годъ. Оказалось, что эта звезда впродолжение года описываетъ

небольшой путь, притомъ, однако, такой, какого не могла описывать вследствие параллакса.

По смерти Молинё в 1728 г. Бадлей продолжал эти наблюдения при помощи нового инструмента, который былъ" установлен для него у его дяди в Ванстэде. Он нашель, что и другия звезды впродолжение года описывают аналогичные небольшие пути. Очевидно, причину этих движений нужно было искать в годовомъ движении земли.

Переезжая однажды через Темзу, Бадлей обратил внимание на ТО, что въ ТО время, когда лодка двигалась, ветер шел как будто по иному направлению,

Рис. 273



Джэмс Бадлей.

чем это было на самом деле. Это наблюдение, вероятно, и дало основание Бадлею объяснить упомянутое кажущееся движение неподвижных звезд аналогичнымъ явлениемъ,—так называемой аберрацией света. В 1728 г. он сообщил о своемъ открытии тогдашнему Королевскому астроному в Гриниче Эдмунду Галлею, а Галлей тотчас же опубликовал письмо Бадлея в изданиях Королевского общества. — По смерти Галлея в 1742 году Бадлей стал его преемникомъ. Въ звании Королевского астронома он и работал до самой своей смерти (1762).

Пусть 1, 2, 3, 4 (рис. 274) будет орбита земли. Продолженная ВО все стороны плоскость земной орбиты представляет эклиптику. Звезда, находящаяся на пер-

пендикуляре к ней в полюсе эклиптики, описывает, как нашел Брайлей, небольшой круг $1' 2' 3' 4'$ с поперечником в $40''$, что приблизительно соответствует V_{45} части видимого поперечника солнца. Звезда движется по этому пути в том же направлении, в каком земля движется по своему, но удивительно, что она идет впереди движения земли на четверть года.

Звезда между эклиптикой и полюсом эклиптики движется по эллиптическому пути $1'' 2'' 3'' 4''$, большая ось которого параллельна эклиптике и также равна $40''$, а

Рис. 274 малая ось тем меньше, чем ближе звезда к эклиптике. Звезда в самой эклиптике движется по прямой линии в эклиптике $1''' 2''' 3''' 4'''$ то в ту, то в другую сторону.

Объяснение Брайля исходило из того, что здесь есть два движения; это бывает также, когда отвесно падающие капли дождя попадают на окно движущегося железнодорожного вагона (рис. 275). Свет движется, земля также. Пусть направление и скорость светового луча даются линией LM (рис. 276). Пусть за то же время земля переходит из P в M . В таком случае результат будет такой, как если бы земля стояла неподвижно, а луч света кроме своего собственного движения имел бы еще движение, противоположное движению земли (LN). Эти два движения LM и LN соединяются в движение LP (ср. § 147). Следовательно, если земля движется перпендикулярно к направлению светового луча, то световой луч войдет в глаз или в зритель-

Аберрация света. ную трубу так, как будто звезда сместилась в том же направлении, в котором движется земля. Только в

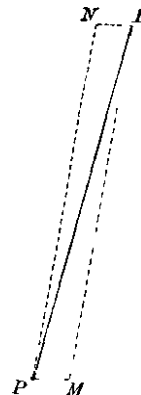
том случае, когда земля движется в направлении луча ($2'''$) или в противоположном ($4'''$), звезда кажется там, где она действительно находится (точно так же,

Рис. 275



Следы дождевых капель на окне железнодорожного вагона.

Рис. 276



как направление ветра не изменяется для нас, если мы идем по ветру или прямо против ветра).

г-И , . , .

Аберрация света.

С)Осмещение, аберрация, очевидно, не зависит от расстояния звезды. Она определяется только скоростью света и скоростью земли.

Наибольшая величина этого смещения составляет 20" или $\frac{1}{10}$ градуса, а так как градус составляет приблизительно $\frac{1}{60}$ радиуса, то 20" соответствуют приблизительно смещению в 1200 радиуса. Другими словами, PM (рис. 276) составляет приблизительно $\frac{1}{10000}$ расстояния LM или скорость света LM приблизительно в 10000 раз больше скорости земли PM . Последняя составляет около 4 миль в секунду. Таким образом, скорость света составляет 40000 миль или 300000 км в секунду. Этот результат является прекрасным подтверждением открытия Ремера и в то же время первым действительным доказательством движения земли вокруг солнца.

285. Брайлей уже в 1727 году заметил другое изменение положений звезд, но, только став Королевским астрономом в Гриниче, он мог глубже исследовать это явление и опубликовать результаты своих наблюдений в 1748 г. Именно, он показал, что неподвижные звезды описывают также небольшую видимую орбиту в период 18 $\frac{1}{2}$ лет. Поперечник этой орбиты имеет от 14" до 19" и из положения этого пути Брайлей вывел заключение, что земная ось, кроме большого круга, который она описывает вокруг полюса эклиптики в 26000 лет (§ 44), описывает также малый круг в 18 лет, так что действительное движение ее представляет некоторую волнообразную линию. Это второе движение оси получило название нутации.

286. Толчок к изобретению третьего способа измерения скорости света, равно как и основную идею способа выполнения этого, дал Доминик Франсуа Арого (рис. 277). Он родился в 1786 г. в Эстажеле близ Перпиньяна, а образование получил в Политехнической школе в Париже. В 1805 г. он отправился в Испанию, чтобы там, вместе с Био, продолжить градусное измерение до Форментеры (§ 278). Во время возстания испанцев против Наполеона он был арестован. Ему удалось бежать в Алжир, но на пути в Марсель он был снова захвачен испанским крейсером. Когда затем он был освобожден и снова приближался к Марсели, буря отбросила его к Сардинии. Отсюда Арого снова попал в Алжир, должен был служить здесь толмачем и только в 1809 г. был снова освобожден. Вскоре затем он был сделан членом Академии и преподавателем Политехнической школы. Вместе с химиком Гэ-Люссаком (1778—1850) Арого редактировал знаменитые „Annales de physique et de chimie". Он опубликовал много работ, отчасти более общего характера из области астрономии и физики, отчасти биографии великих людей и описания их деятельности. Арого одинаково ценили, как выдающегося естествоиспытателя и как популярного писателя и оратора. В 1830 г. он стал директором Парижской обсерватории и получил множество почетных отличий от городов и ученых обществ.—Арого принимал также деятельное участие в политике. Как член палаты депутатов, он всегда был представителем свободных взглядов и был для противников опасным оратором. В значительной степени благодаря ему был положен конец кровопролитию во время июльской революции 1830г. Когда правительство после умирения июньского возстания 1832 г. собиралось окружить Париж отдельными фортами, Арого указал на ту громадную опасность, какую это представляло для народного мира, и потому правительство оставило свой план. Когда из-за участия политехников в возстании Политехническая школа была подчинена военному министерству, Арого сложил с се-

бя профессиуру. — Во время февральской революции 1848 года Арого был членомъ временного правительства, а позднее исполнительного комитета. Он был противъ избрания Наполеона в президенты и не побоялся после государственного переворота поднять голос за изгнанныхъ. Арого умер в 1853 году. Так как в последние годы своей жизни Арого почти ослепъ, он не мог сам выполнить свой план измерения скорости света. Этот план был выполнен различными способами Физо и Фуко.

287. Ипполит Луи Физо, родившийся в Париже в 1819 г., умерший въ 1896 г., определял время, которое свет употреблял на прохождение пути отъ

Рис. 277



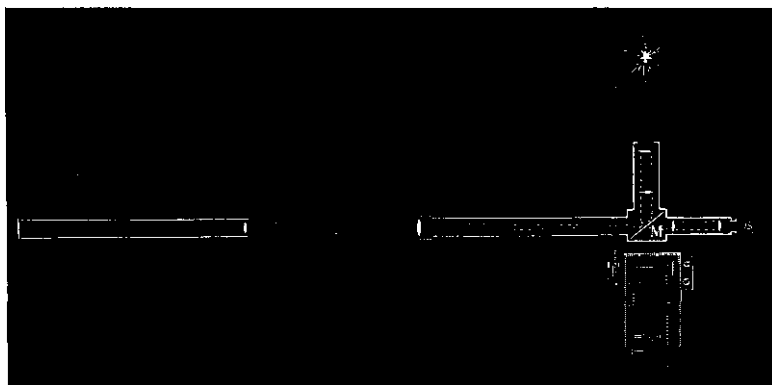
Доминик Франсуа Араго

Сюрена до Монмартра (8633 м) и обратно. Это разстояние имело, следовательно, при близительно ту же длину, как и разстояние в опыте Accademia del Cimento (§ 282). Но Физо так расположил опытъ, что посылание и обратное отсылание света происходило автоматически, а для определеннш этого времени служил в высшей степени остроумный приборъ, соединенный со зригельной трубой.

Для этого опыта служил приборъ, изображенный на рис. 278. Правая сторона рисунка представляет ту часть прибора, которая была установлена в Сюрене, а левая часть — в Париже (вид сверху). Первая часть состояла из зрительной трубы, в которую можно было смотреть по направлению к Парижу. К зрительной трубе была приделана боковая трубка, через которую в зрительную трубу

попадали лучи сильного источника света. Здесь они падали на стеклянную пластинку *AI*, которая отражала лучи по направлению к Парижу, хотя не была покрыта оловянной фольгой. Затем через собирающее стекло лучи проходили в трубку, которая на другом конце была закрыта зеркалом, перпендикулярным к оси трубки. До установки здесь зеркала на его месте находился окуляр, при помощи которого можно было правильно установить трубку. По отражении от зеркала, которое устанавливалось в фокусе линзы, лучи выходили из линзы параллельным пучком, так что возвращались в Сюрен почти не ослабленными. Здесь они

Рис. 278



Определение скорости света Физо

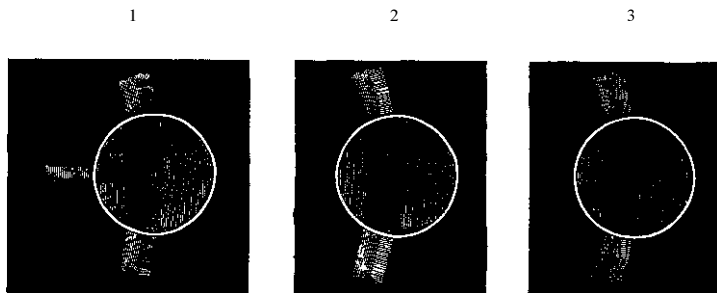
вступали в зрительную трубу и попадали в глаз, не испытывая сколько-нибудь заметного ослабления от стекла *M*. Таким образом, в трубе можно было видеть свет, зажигаемый самим наблюдателем. По другую сторону зрительной трубы (на рисунке внизу) находился часовой механизм с быстро движущимся зубчатым колесом, проходившим сквозь прорезь, сделанный в зрительной трубе в том месте, где находился общий фокус объекта и окуляра. Таким образом, глядя в зрительную трубу, можно было видеть эти зубцы, и если колесо стояло неподвижно, а на середину поля приходился промежуток между зубцами, то в этот промежуток можно было видеть возвращенный из Парижа свет (рис. 279, 1).

Если теперь пустить в ход часовой механизм, однако, не слишком скоро, то зубцов уже нельзя будет видеть отдельно, но свет будет еще видим (рис. 279, 2). Пройдя через промежуток между зубцами, свет снова возвращается через этот же промежуток, если он за короткое время, употребленное светом на прохождение туда и обратно, не передвинется много. Но, ускорив ход часового механизма, можно достичь того, что свет исчезнет. Это наступит тогда, когда скорость станет настолько большой, что свет, вышедший через какой-нибудь промежуток между зубцами, по возвращении встретит зубец, так что не сможет идти дальше и попасть в глаз. При вдвое большей скорости колеса свет снова будет видим, так как теперь, за время от выхода луча до его возвращения после отражения, на место промежутка между зубцами, сквозь который лучи вышли,

успел стать следующий промежуток между зубцами. При утроенной скорости свет снова исчезнет, при учетверенной снова появится и т. д.

В опытах Физо свет исчезал в первый раз, когда зубчатое колесо совершало 12-67 оборотов в секунду. Это колесо имело 720 зубцов. Время, продолжение которого на место зубца помещался ближайший промежуток, составляло, следовательно, $\frac{1}{720}$ секунды. За это время свет проходил 17266 м . Таким образом в одну секунду он должен проходить $18244 \times 17266 \text{ м}$ или 315000 км (приблизительно 42000 миль).

Рис. 279



Зубчатое колесо Физо в поле зрения трубы.

В 1873 г. этот опыт был повторен Корню, внесшим много улучшений в измерения, на расстоянии 10310 л^* . Он получил 298500 лгж в секунду. В 1875 г. опыт был повторен вблизи Парижа еще раз на расстоянии 23000 м , причем было получено 300400 км или приблизительно 40000 миль в секунду.

288. Три определения скорости света Ремера, Брадлея и Физо так различны между собою по своей основной идее и по способу выполнения, что едва ли возможно сомневаться в справедливости их согласных результатов. К этому прибавляется еще один способ, который позволяет также определить скорость света в воде. Арого указывал, что последняя скорость имеет огромное значение для вопроса о природе света. Это измерение было произведено в 1850 г. Физо и Фуко. Последний повторил затем свои измерения в несколько измененной форме.

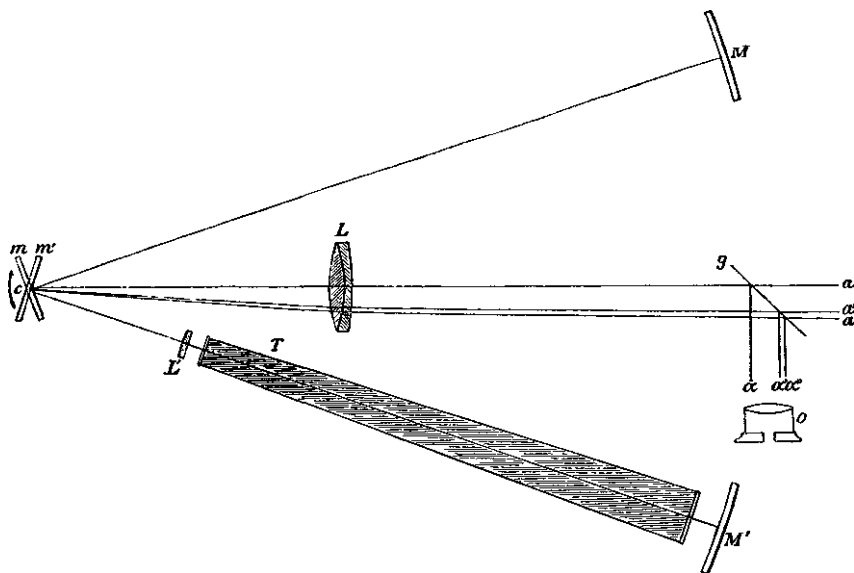
Леон Фуко родился в 1819 г. в Париже. Он изучал медицину, но также очень интересовался чисто физическими вопросами. Ему принадлежит много хороших работ в области оптики, например, сооружение вогнутых зеркал для телескопов. Особенно прославился Фуко своим доказательством вращения земли. Он умер в 1868 г.

Его опыт для определения скорости света был произведен в комнате, так что свет проходил при этом всего несколько метров. В этом опыте свет идет от a (рис. 280) сквозь стеклянную пластинку g и собирающее стекло L , делающее лучи параллельными, к зеркалу m . Это зеркало вращается около вертикальной оси. В положении m оно отбрасывает свет к вогнутому зеркалу M , центр которого лежит в точке c . Затем свет возвращается назад к m и идет отсюда сквозь L к стеклу g . От стекла он отражается в направлении a через зрительную трубу к глазу.

Но когда зеркало m занимает положение m' , то свет идет сквозь трубку T к вогнутому зеркалу M и обратно к m' , отсюда сквозь L к g , так что его можно видеть также в направлении a . Труба Гнаполнена водою и на обоих концах закрыта стеклянными пластинками. Когда свет проходит сквозь воду, он получает голубовато-зеленую окраску. Но чтобы еще лучше отличать свет, идущий от M , от света, идущего от M' , зеркало M покрывается непрозрачною пластинкой, имеющей длинное неширокое отверстие. Таким образом, в зрительную трубу o от света, приходящего от M , получается впечатление рис. 281, 1, от света же, идущего от M' , впечатление рис. 281, 2.

Если теперь вращать зеркало m m' с умеренной скоростью, то, говоря вообще, оно будет посылать свет по направлениямъ, отличным от направлений к M

Рис. 280



Измерение Фуко скорости света в воздухе и в воде.

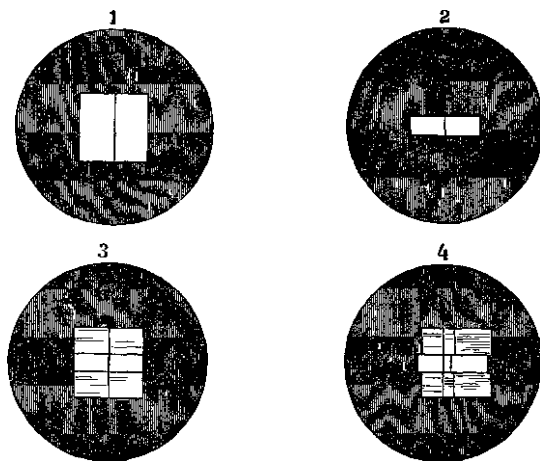
и M' , но иногда также и по этим направлениямъ, так что глаз будет получать впечатление вспышекъ, идущихъ от M и M' . Если эти вспышки следуют другъ за другом достаточно быстро, то получится одно слитное впечатление, рис. 281, 3.

Если, наконецъ, привести зеркало в очень быстрое вращение, то оба эти изображения сместятся вправо, но больше сместится то изображение, которое получается от M' . Пока луч света от m идет к M и назад к m , это зеркало немного поворачивается и отбрасывает теперь луч уже не по направлению к a , а в направлении к a' , вследствие чего изображение будет видно в a' . И в то время, как луч света идет от m' сквозь воду к M и обратно к m' , зеркало поворачивается настолько, что луч отбрасывается в направлении a' и наблюдается в a'' . Таким образом, последний луч смещается еще сильнее, чем первый, рис. 281, 4.

Итакъ, лучъ, прошедший сквозь воду, очевидно, замедляется еще больше, чемъ лучъ, идущий сквозь воздухъ. Это смещение можно измерить даже тогда, когда толщина

воды не превышает 4 м и когда свет замедляется всего на $V_{\text{неаіsооо}}$ секунды отсюда получается, что скорость света в воде равна приблизительно $\frac{3}{4}$ его скорости в воздухе и, следовательно, составляет 30000 миль в секунду

Рис 281



Смещение света вследствие различия скоростей

Для скорости света в воздухе Фуко нашел величину 298000 км. Опыты, произведенные позднее Майкельсоном (1878) и Ньюкомом дали для скорости света величины 299850 км и 299800 км.

Исаакъ Ньютонъ

289 Исаакъ Ньютон родился 5 января 1643 года в Вульсторпе близъ Грэнтгэма в Линкольншире. У его отца была маленькая ферма, которая была во владѣннѣи семьи уже более 100 лет и давала около 30 фунтовъ стерлингов (=^300 руб) годового дохода Вскоре после женитьбы он умеръ и молодой Ньютонъ, получившій имя своего отца Исаака, родился таким слабым ребенкомъ, что сомневались даже, выживет ли онъ.

Спустя несколько летъ, его мать, которую описываютъ, как необычайно добрую женщину, вышла замуж во второй раз за духовное лицо, по имени Смита в Нортъ-Витгэме, оставив сына в Вульсторпе под присмотром своей матери. По смерти своего второго мужа она вернулась в 1656г. с тремя детьми от второго мужа в Вульсторп и отдалась воспитанию детей и управлению своими двумя имениями, которыя давали около 80 фунтов в год (рис 282).

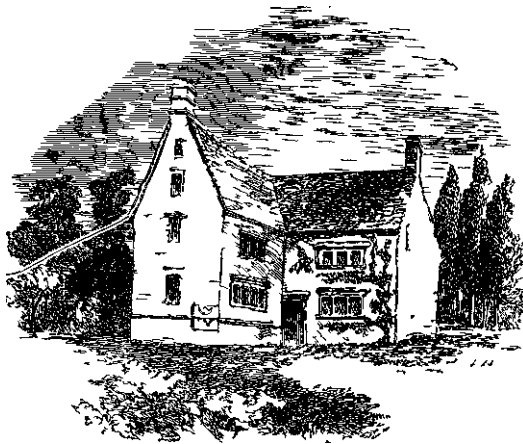
Сначала Исаак посещал довольно жалкую сельскую школу, а затем школу некоего Стокса в Грэнтгэме. Сначала он обнаруживал мало охоты к учению и мало успевал Но затем в нем проснулось честолюбие и он скоро стал первым в своем классе

Однако, школьное обучение, повидимому, мало приходилось ему по душе Зато

он охотно интересовался предметами из области естествознания и механики Исаакъ изготовлял водяные часы, водяныя и ветряныя мельнички, воздушные змеи, которые запускал по вечерамъ, прикрепив фонарь к хвосту, на удивление жителей городка Он изучал силу ветра, наблюдая — напримеръ, в сильную бурю в день смерти Кромвелля —, как далеко он может прыгнуть по ветру и против ветра. Он делал также солнечные часы, сначала представившие некоторыя трудности, пока он не уяснил себе, как они должны быть устроены (§ 41). Такие солнечные часы ИСаак устроил на стене своего родного дома Впоследствии они были осторожно сняты со стены вместе с камнемъ, на котором были укреплены, и поставлены в библиотеке Royal Society.

Такого рода вещи составляли его любимое занятие и после того, как мать взяла его из Ипколы, чтобы он помогал ей в управленш имѣНІем Но к сель-

Рис 282



Дом в Вульсторпе, в котором родился Ньютонъ

скому хозяйству Исаак не имел никакой охоты. По совету брата матери, духовного лица, было решено снова отдать его в школу в Грэнтгэме для приготовления к академическим занятиямъ. Он делал такие успехи, что Стокс ставилъ его въ достойный подражания образец другим ученикамъ, когда в возрасте 18 лет он покинул школу для переезда в Кэмбриджъ.

290. Принимая во внимание несколько неправильное начальное образование, какое получил Ньютонъ, нельзя было думать, что при переходе в университет он окажется по своимъ познаниям на одинаковой высоте со своими сверстниками. Но, быть можетъ, тем свежее были его силы По поводу этого его биографъ, превосходный шотландский физик Брюстер говоритъ: „не истощенный ранней ускоренной выгонкой, а укрепленный здоровым покоемъ, его дух был тем способнее дать Ие могучие ростки, которые скоро должны были покрыть плодородную почву листьями и плодами" (рис 283).

Нькнон занялся изучешем математики, физики и филосош Но и здесь он взялся за работу не по школьному. Многое было для него слишком просго, а иное он хотел знать лучше. Математика Эвклида, этот удивительный экзем-

плярь заботливо вышколенной мысли, была для него слишком детской; все здесь было понятно само собою и об этом почти не стоило говорить, по крайней мере, так подробно. Зато он нашель, что в математических сочинениях Декарта содержится нечто, над чем можно ломать себе голову, и даже без надлежащей подготовки онъ, благодаря только собственной энергии, прошел все эти работы. Он изучал также то, что Валлисъ (§ 178) написал о бесконечномъ, и оптику Кеплера. Только позднее, когда он увидель, что и школьный метод имеет свою цену, что онъ, именно, может позволюиь всъм — и не гениямъ,—даже может за-

Рис 283 ставить всякого следить за ходом развития мысли, только тогда пожалел онъ,



что слишком низко ценил Эвклида, и сам стал пользоваться этими способами, когда передавалъ человечеству свои великия открытия.

Брюстер пишет дааьше: „Кэмбридж был действительной родиной гения Ньютона... в стенах этого города были сделаны и разработаны все его открытия". Само по себе это не представляет ничего удивительного, так как он оставался здесь до 1703года. Но удивительно, что те три открытия, на которых основывается слава Ньютона, повидимому, были сделаны уже в 1666 или, может быть, в 1667 г., когда Ньютону было всего 24 года.

Первое из них—чисто математическое. О нем мы не можем говорить

Ньютон в молодости. здесь подробно. Можно только отметить, что оно между прочим дает намъ

возможность пользоваться при вычислениях кривыми линиями и их особенностями. Уже в 1666 г. Ньютон набросал свое так называемое исчисление флюкций — ставшее позднее таким важным дифференциальное и интегральное исчисление, изобретенное одновременно Лейбницемъ. Не говоря об огромном значении, которое эта область науки имеет сама по себе, она была также необходимым орудиемъ мысли, использованным Ньютон ом при многих физических открытияхъ.

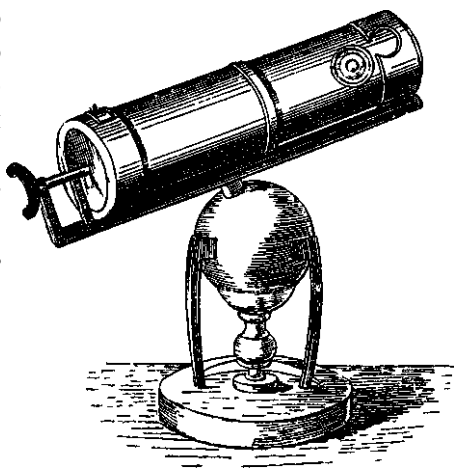
291. Второе из этих великих открытий будет подробно изложено в другом отделе этого сочинения. Оно привело Ньютона к убеждению, что невозможно изготовлять оптическия стекла, дающия безукоризненное изображение. В виду этого со зрительной трубой невозможно получить очень сильныя увеличения безъ того, чтобы в изображении не появились размытые цвета. Ньютон открыль, что этой ошибки можно избежать, получая изображение при помощи точно отшлифованного вогнутого зеркала. А потому он принялся за шлифовку металлических зеркаль для изготовления отражательных телескопов (рефлекторовъ). Незадолго до того такой телескоп был предложен Джэмсом Грегори (1638—1675) в Эбердине.

Грегори также пытался шлифовать нужные для этого зеркала, но так как это ему не удалось, то он не мог построить телескопа. Один итальянский иезуит Никола Цукки (1586—1670) и Роберт Гук (§ 166) возились с планами постройки зеркального телескопа, но и они также не успели выполнить этот план.

Ньютон изготовил сначала маленький зеркальный телескоп, а затем больший. — Последний именно и возбудил в Кэмбридже такое удивление, что познакомиться с ним захотело и Royal Society в Лондоне. Ньютон послал свой инструмент в Лондон. Здесь инструмент был показан королю и исследован ученой комиссией, которая отозвалась о нем очень благоприятно. Секретарь общества Ольденбург дал Ньютону совет послать рисунок и описание инструмента Гюйгенсу в Париж. Самый инструмент Ньютон подарил Королевскому обществу и он еще и теперь находится в библиотеке Общества с надписью: „Изобретен сэром Исааком Ньютоном и изготовлен его руками, 1671“.

Этот инструмент изображен на Рис. 284

рис. 284, а рис. 285 показывает его устройство. Вогнутое зеркало S давало бы действительное изображение предмета a (§ 91), если бы лучи не встречали по пути маленького плоского зеркала c , которое дает изображение в b , симметричное с a относительно зеркала c . Это изображение рассматривается через увеличительное стекло d .



Зеркальный телескоп Ньютона.

292. Уже в 1669 году Ньютон пользовался в Кэмбридже таким уважением, что ему была передана кафедра Барроу, когда последний ушел в отставку, чтобы принять одно церковное место. С этого времени Ньютон читал в университете лекции об оптике. Его телескоп возбудил уважение среди членов Royal Society и в 1672 г. он сам был избран в члены этого общества.

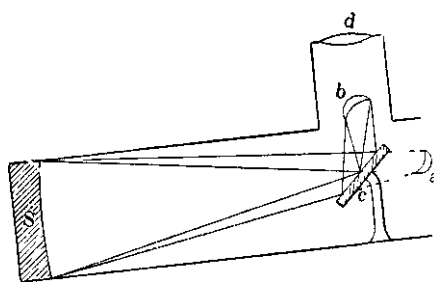
В первое время после своего основания в 1645 году это общество вело очень скромное существование, хотя в числе его членов были такие выдающиеся люди, как Бойль (§ 225), Гук (§ 166) и Рен (§ 178). В 1647 году часть членов этого общества переехала в Оксфорд и здесь-то к нему примкнул Бойль, который жил в доме аптекаря Кросса, где происходили собрания общества. В 1659 г. общество снова переишло в Лондон, а в 1662 году Карл II сделал его королевским учреждением. Впрочем, Общество не получало от государства никакой поддержки и потому могло действовать независимо. Однако, в первое время выходило, что при избрании членов большую роль играло их благосостояние, чем научные работы. Но общество могло указать много великих имен в своей среде, а его издание, Philosophical Transactions, появляющееся еще и теперь, содержит массу в высшей степени ценных работ, часто даже составлявших эпоху в науке. Это общество и его издания остались верными той основной мысли, на которую

указывали Галилей и Accademia del Cimento и борцом за которую был Фрэнсис Бэкон (§ 167). Опыты и факты всегда составляли для него главное, а когда временами, как у Ньютона, на первый план больше выступала работа мышления, то здесь обращали внимание не на безцельные умозрения или недостоверные гипотезы, а на математически строгое объяснение фактов.

Став членом этого общества, Ньютон тотчас сообщил ему упомянутое выше открытие о цветах, которое по его мнению было одним из самых важных открытий, когда-либо сделанных в области естествознания.

Это сообщение было принято обществом благоприятно и было напечатано. Но в течение длинного ряда годов этот вопрос вызывал много возражений, так

Рис. 285 что Ньютону пришлось потратить много



Устройство зеркального телескопа Ньютона.

времени на защиту своего открытия. Критика иногда так раздражала Ньютона, что он жалел об опубликовании этого открытия и „пожертвовании своим миромь“. Несомненно, вследствие этих споров при опубликовании позднейших работ Ньютон был гораздо осторожнее.

293. Мы должны заняться здесь подробнее третьим открытием Ньютона, основная идея которого возникла у него также в 1666 году, хотя вполне разработал и разъяснил ее он гораздо позднее.

Что касается зарождения этой мысли, то Ньютон по этому поводу уже в старости передавал своей племяннице следующее. Сообщающий это, Вольтеръ утверждает, что он узнал о нем от самой племянницы.

В 1666 году Ньютон был некоторое время на своей родине в Вулсторпе, так как в Кэмбридже была чума. Здесь однажды он увидель, как съ дерева упало яблоко, и это навело его на вопросъ, не действует ли та сила, которая производит падение яблока и вообще падение всех тел на поверхности земли, также на большия розстояния, даже на разстояние луны, — не действует ли она на самое луны. Эта сила действует одинаково на всевозможныя тела, так что все они падают одинаково скоро (§ 139), и луна, которая также есть тело, должна падать так же быстро, как и всякое другое тело, которое находилось бы на том же месте.

Падает ли тело на большом разстоянии так же скоро, как и тело у самой поверхности земли? И сила тяжести так же ли велика тамъ, как здесь? Как мы увидим ниже, этот вопрос был намечен в то время различными учеными. Ньютон предполагать, что эта сила,—как и действие источника света (§ 82)—должна убывать с разстоянием такъ, что уменьшается в такой же степени, в какой увеличивается вторая степень (квадратъ) разстояния.

Если это такъ, то легко вычислить, насколько луна должна падать по направлению к земле в одну секунду. В самом деле, на поверхности земли тело проходит при падении' $4 \cdot 9$ м в одну секунду (§ 149), а так как разстояние луны

от центра земли равно 60 земным радиусамъ, ТО луна должна падать на $\wedge$ или ⁴⁹
на $O'O136\text{ м}$ в секунду.

Скорость c луны (рис. 286) можно яегко вычислить, так как известно, что поперечник лунной орбиты равен приблизительно 100000 миль, а время обращения луны составляет 27⁵ сутокъ. Таким образомъ, скорость луны составляет 1000 м в секунду.

Согласно закону инерции (§ 146) при этой скорости луна должна была бы пройти в одну секунду от точки o своей орбиты путь op — 1000 м. Но такъ как на самом деле она приходит из o в m ,

ТО, очевидно, она отклоняется от направления op на величину pm — on . Равен ли действительно этот путь тому, который луна должна пройти въ одну секунду при падении на землю? Величину on

легко вычислить (§ 173). Вычисление дает $on =$
= $0'00135\text{ м}$ в секунду, т. е. действительно ТО
число, какого следовало ожидать.

Итакъ, движение луны вокруг земли вполне объясняется законом инерции и предположениемъ, что луна падает по направлению к земле, какъ и все другия тела.

Те два числа, которыя нашел Ньютонъ, Падение луны на землю. однако, согласовались друг с другом не такъ

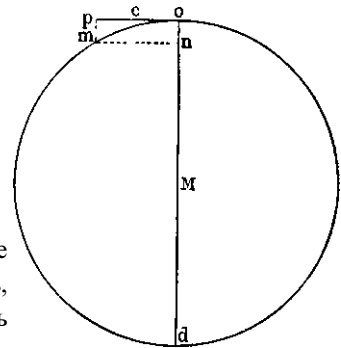
хорошо—они относились одно к другому, как 31:27. Дело в томъ, что при вычислении ему пришлось пользоваться менее точным значением величины земли, а, значить, и относительного разстояния луны. Конечно, Ньютон не удовольствовался таким плохим согласием между фактами и выводами умозрения. На некоторое время он оставил этот вопрос и после прекращения чумы снова взялся за свои работы по оптике.

294. Само собою разумеется, что открытие Ньютона, к которому будто бы привело падение яблока, обусловливалось его собственными личными особенностями, а именно, с одной стороны его гениальностью, а с другой теми веяниями, которыя чувствовались тогда в области естествознания.

У Ньютона было несколько Ииредшественниковъ. Декарт (§ 171), вихревая теория которого во времена Ньютона еще господствовала в научном мире, въ области физики не принадлежит, конечно, к этим предшественникамъ. Но какъ математикъ, он несомненно имел для Ньютона огромное значение.

С другой стороны, Кеплер не только указал законы, согласно которымъ движутся небесныя тела (§ 73), но сделал также попытку объяснить эти движения. Он говорить, что еслибы в небесном пространстве находилось только две звезды, неподчиненныя влиянию какого-нибудь другого тела, ТО оне притягивались бы другъ к другу и наконец столкнулись бы. Однако, пытаясь объяснить движение планетъ, Кеплер не придерживается твердо этой мысли. Во всяком случае он был убежденъ, что между солнцем и планетами существует какая-то связь, но называет эту

Рис. 286



связь магнитным притяжениемъ. При вращении около своей оси солнце при помощи этой связи и увлекает планеты.

Выдающийся французский математик Пьер Ферма (1608 — 1665) занимался не только математическими работами, в которых он решал некоторые из задачъ, нашедших позднее более общее решение в дифференциальном исчислении; он высказал также мнение, что тяжесть есть следствие взаимного притяжения телъ. Поэтому, как он совершенно правильно вывелъ, тяжесть должна уменьшаться съ углублением в землю, В самом дѣлѣ, в этом случае та часть земли, которая находится по одну сторону с ея центромъ, притягивает тело внутрь, напротивъ, та часть, которая находится позади тела ближе к поверхности, тянет наружу.

Наконецъ, в 1666 году Борелли (ср. II, § 17) построил теорию спутниковъ Юпитера и высказал в ней мысль, что движения небесных тел вызываются и поддерживаются взаимными притяжениями. Борелли был физик и, как физикъ, он стоял на правильном пути, но он не был в достаточной степени математикомъ, чтобы выяснить эту связь.

295. Совершенно то же можно сказать о Роберте Гуке (§ 166), которого можно назвать в этом отношении величайшим предшественником Ньютона или, может быть, правильнее, его старшим сверстникомъ, также работавшим над решением этой великой задачи¹⁾.

В том же году, когда писал Борелли и когда Ньютон впервые направил свои мысли на действие силы тяжести (1666), Гукъ обнародовал в изданияхъ Королевского Общества статью по тому же вопросу.

Чтобы исследовать, меняется ли тяжесть с удалением от центра земли, Гукъ взвешивал тяжелое тело на вершине храма св. Павла, сначала поместив тело у поверхности земли и соединив с чашкой весов длинным шнуромъ, а затем сложив его вместе со шнуром в чашку весовъ. Гукъ не нашел никакой разницы, как не нашел никакой разницы, произведя такое взвешивание на поверхности земли, причем тело висело в шахте глубиною в 300 футовъ. Гукъ, однако, допустилъ, что эта разница так ничтожна, что ее нельзя обнаружить такими взвешиваниями. Поэтому он предложил сделать опыт с маятниковыми часами (ср. § 275). Известно, были ли произведены эти опыты.

Спустя несколько месяцев Гукъ говорит следующее: „Меня часто удивляло, почему планеты, которыя по мнению Коперника движутся вокруг солнца, не будучи заключены в какую-нибудь шарообразную чашу и не будучи связаны съ солнцемъ, как с центромъ, какой-нибудь видимою связью, удаляются от солнца на дальние определенное разстояния и движутся не по прямой линии, как движутся все тела, которыя получают свое движение от отдельного толчка. Изменение формы планетных орбит из прямолинейной в криволинейную не может быть следствием одного отдельного толчка, его причиной должно быть еще действие какой-то другой силы. Можно вообразить себе причину двоякого рода. Во-первыхъ, удержание при центре может быть производимо темъ, что вблизи солнца э ир менве

¹⁾ Говоря о заслугах этого человека, нельзя умолчать о томъ, что существует подозрение, будто несколько раз чужия открытия, о которых он узнавалъ, он выдавал за свои собственные. *Прим. пер.*

плотень, чем на большем разстоянии. Само по себе это не невероятно, если э ирь сходитен с воздухомъ, такъ какъ в такомъ случае в силу расширения от теплоты вблизи солнца он должен делаться менее плотнымъ. Это допущение, однако, имеетъ так много против себя и так мало соответствует нашей теме, что я предпочитаю отбросить его. Но тогда возможно только предположение, что указанное искривление производится притягательной силой тела, находящагося в центре движения и постоянно притягивающаго к себе движущееся тело. При этом допущении возможно объяснить планетныя движения из обычных основных положений механики и, может быть, оно даст нам средство очень точно вычислять движения небесных телъ при помощи немногих наблюдений".

Однако, Гук не пускается в такіа вычисления, а, как физикъ, он делаетъ опытъ, который отчасти разъясняет этотъ вопросъ. Он подвешивает на шнуре шаръ, отводит его слегка от вертикальной линии и дает ему боковой толчекъ. Шаръ начинает двигаться около вертикальной линии; изменяя величину бокового удара, можно заставить шаръ описывать кругъ или эллипс с центром на вертикальной линии. Гук не отрицаетъ, что этотъ опытъ дает только пояснение, а не точное изображение планетныхъ движений. Сила, с которою шаръ притягивается к отвесной линии, темъ меньше, чемъ ближе онъ подходит к отвесной линии, тогда какъ, напримеръ, то притяжение, какое солнце оказываетъ на землю, вблизи солнца должно быть больше. Движение планеты, имеющей спутника, Гукъ наглядно изобразилъ темъ, что прикрепилъ к большому шару при помощи короткаго шнурка меныиий и затемъ толчкомъ привелъ в движение оба шара.

Спустя 8 летъ, в 1674 году Гу к сделалъ Королевскому Обществу новое сообщеніе о движении одной звезды в созвездіи Дракона (§ 284) и сообщеніе о следующемъ опыте для объясненія строенія вселенной, часто привлекавшее слишкомъ мало вниманія.

„Здѣсь я изложу систему міра, отличающуюся многими особенностями отъ признанной теперь, НО ВО всехъ отношеніяхъ соответствующую обычнымъ законамъ движенія. Она основывается на трехъ допущеніяхъ: во-первыхъ, что все небесныя тела притягиваютъ к своимъ центрамъ и это притяженіе не только мешаетъ унестиcя прочь частямъ этихъ телъ и предметамъ на ихъ поверхности, НО распространяется также и на другія небесныя тела, лежащія в кругу ихъ дѣйствія. Такъ, солнце и луна не только оказываѣтъ влияние на землю и на ея движеніе, а земля — на солнце и на луну, НО равнымъ образомъ Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ также оказываютъ своимъ притяженіемъ значительное влияние на движеніе земли такъ же, какъ соответственное притяженіе земли оказываетъ значительное влияние на движенія названныхъ планетъ. — Второе допущеніе состоитъ в томъ, что всякое тело, разъ начавъ двигаться прямолинейно, сохраняетъ это прямолинейное движеніе до техъ поръ, пока его не отклонитъ дѣйствіе какой-либо силы, которое заставитъ его описывать кругъ, эллипсъ или другую сложную линію.—Третье допущеніе состоитъ в томъ, что дѣйствіе притягательной силы темъ болые, чѣмъ ближе находится тело, на которое она дѣйствуетъ, къ центру притяженія. Что касается закона этого увеличенія, ТО я еще не нашелъ его опытами. Но еслибы онъ былъ извѣстенъ такъ, какъ онъ долженъ быть извѣстенъ, ТО онъ представилъ бы для астрономовъ превосходное вспомогаельное средство свести все движенія небесныхъ

тел на один закон, что без знания этого закона никогда не- будет возможно. Кто понимает круговое движение маятника, тот признает правильной эту основную мысль и легко увидеть, в каком направлении нужно искать в природе, чтобы найти его верную формулу.

Я указываю это только для того, кто имеет способность и возможность продолжить это исследование дальше и у кого нет недостатка в прилежании к наблюдениям и вычислениям. Я сердечно желаю, чтобы такие лица нашлись, так как сам я занят другими вещами, которые нужно кончить раньше".

296. Что делал в эти годы Ньютон для разъяснения устройства вселенной, мы не знаем. В течение ряда лет после 1666 г. он был занят оптикою и, вероятно, также дифференциальным исчислением, которое впрочем должно было стать известным только позднее, а его деятельность в этих областях, как легко себе представить, была так напряженна, что он не мог в то же время глубоко сосредоточиваться еще и на других предметах. Но, повидимому, его работы о строении вселенной не оставались без движения и, быть может, уже в 70 х годах у него были в руках результаты, которые вызвали бы величайшее удивление, будь они опубликованы. Помня, однако, о тех неприятных опытах, которые были связаны с опубликованием его оптики, он никому ничего не говорил об этих работах. Ньютон жил очень уединенно, встречался лишь с очень немногими людьми, редко ложился в постель раньше 2 часов, а часто и в 4 или в 5 и спал очень мало. Он опаздывал к обедам, а когда ему напоминали об этом, он, не отрываясь от своей работы, глотал несколько кусочков и забывал про остальное. Иногда Ньютон не знал, ел он или нет. Случалось, что он оставлял своих гостей, чтобы достать что-нибудь, например, вино, но затем совершенно забывал, зачем он пошел, и потом оказывался за своей работой.

В то время как он вел такую образ жизни, в 1679 г. появилась первая статья его о строении вселенной. Гук, ставший за это время секретарем Королевского Общества, просил Ньютона дать какую-нибудь статью для издания общества. Ньютон описал новый способ определения вращения земли около оси и предложил, чтобы Общество произвело этот опыт. Находящаяся на высоте точка, например, вершина башни, отстоит от земной оси дальше, чем подножие башни. Эта вершина описывает больший путь, чем подножие, и потому должна иметь большую скорость по направлению от запада на восток, чем последнее. Так как шар, падающий с вершины башни, удерживает при своем падении эту большую скорость к востоку, тогда как подножие движется к востоку с меньшей скоростью, то шар должен упасть несколько к востоку от отвесной линии¹⁾. Общество поручило выполнение этого опыта Гуку. Гук написал Ньютону письмо, прочтенное им в одном из следующих собраний. Гук понял один рисунок в статье Ньютона так, что путь падающего тела должен иметь форму спирали и что тело, не будучи задержано землею, должно было бы двигаться

¹⁾ Тихо Браге также высказывал такую мысль. Но так как в то время не был известен закон инерции, то Тихо думал, что предмет, падающий с вершины башни, должен отставать, т. е. должен падать к западу от основания отвесной линии. Тихо не нашел отклонения от отвесной линии и это укрепило его в мнении, что земля не вращается.

именно таким путем к центру земли. Это было чистейшее недоразумение. Ньютон совершенно не думал о падении до самого центра, а только о падении вблизи поверхности земли, где тяжесть всюду остается одинаковой. По взгляду Гука тело, еслибы оно могло продолжать свое движение, должно было описать удлинённый эллипс око́чо центра земли, вернуться к вершине башни и продолжать это движение дальше — Королевское Общество было недовольно, что опыта не сделали, и снова поручило Гуку произвести его. Гук исполнил это, но опыт не привел ни к какому результату, так как высота падения была всего 27 футовъ.

Рис. 287



Ньютон в молодости (по портрету 1689 года)

Эти опыты были позднее произведены Гульельмини в Болонье (1791), Бенценбергом (1802) и Рейхом (1831). Так как высота падения в опытах первого из них составляла только 90 футовъ, то и они дали не вполне удовлетворительный результат. Зато опыты Бенценберга, которые были сделаны въ церкви св. Михаила, в Гамбурге, и при которыхъ высота падения составляла 236 футов (76'3 м), привели к решительному результату, равно как и опыты, произведенные Рейхом в Трехбратской шахте (158'5 м) близ Фрейберга. Эти опыты нужно производить очень тщательно, в особенности нужно устранять вредное влияние сквозного ветра. Затем нужно сделать большое количество опытов и изъ

результатов отдельных опытов взять среднее. Бенценберг нашел в среднем из 31 опыта отклонение к востоку в 9 мм, Рейх в среднем из 106 опытов — отклонение в 284 мм.

Ньютон не развивал своей мысли далыпе, после того как она встретила со стороны Гука такой несоответственный приемъ. Тем усерднее отдался он своей работе и когда в 1682 г. повторил свое вычисление для луны (§ 293), гюложивъ в основу величину земного диаметра, исправленную по градусному измерению Пикара (§271), то он нашель, что его идея 1666 года подтвердилась. Его возбуждение в этом случае было, говорятъ, так велико, что он должен был просить одного из друзей довести вычисление до конца. Во всяком случае в эти годы он былъ погруженъ глубже, чем можно описать, в математическую обработку этих вопросовъ; в этом нет ничего удивительнаго, если вспомнить, что въ это время спокойнаго уединения в Кэмбридже создавался трудъ, который можно назвать значительнейшим из всехъ, когда либо появлявшихся, трудов в области естествознания. — Однако, прежде чем мы ближе разсмотрим содержание этого труда, мы должны бросить еще один взгляд на то, что происходило в это время в Королевскомъ Обществе.

297. К числу членов этого общества в то время принадлежал Эдмундъ Галлей, о котором будет речь ниже. Как Гук и Рень, Галлей много занимался движениями небесных тел и многое в этом отношении стало для всех нихъ яснымъ. В январе 1684 г. они какъ-то собрались и разговор сейчас же перешель на тот вопросъ, которым интересовались все трое. Если маленькое тело притягивается большим такъ, что величина притяжения обратно пропорциональна квадрату разстояния, то малое тело, если в начале имеет боковое движение, должно описывать эллипсъ. Вопрос в томъ, как доказать это математически. Рен обещал дать тому из нихъ, кто первый найдет это доказательство, книгу ценою в 40 шиллингов (около 20 рублей). Гук утверждалъ, что он знает это доказательство, но пока не хочет его сообщать, чтобы другие поняли, как трудно найти его. Утверждение Гука едвали было верно, так как Рену не пришлось выполнять своего обещания.

Спустя семь месяцев Галлей поехал в Кэмбридж и здесь посетилъ Ньютона в надежде, что Ньютон сможет разъяснить ему этот вопросъ. Галлей нашел гораздо больше, чем ожидать, так как Ньютон закончил большой трудъ, в котором содержалось также желаемое доказательство; но, по всей видимости, эта работа должна была оставаться в покое до смерти Ньютона, который хотел избежать новых споровъ. Галлею, однако, удалось получить от Ньютона обещание представить этот труд в Королевское Общество и Галлей всегда съ удовольствием вспоминал об этом и ставил себе в заслугу, что он открылъ этот единственный в своем роде труд и способствовал его появлению в светъ. Дело, однако, затянулось еще на несколько летъ, но, когда оно, наконецъ, совершилось, труд оказался таким глубокимъ, что похвальное слово ему в Обществе кончалось словами: „все готово, болыие нечего делать".

Гук был в ярости, что он не был назван в труде Ньютона, и онъ требовал этого на том основании, что высказывал основныя мысли этого труда задолго до Ньютона, иныя публично, а иныя в письмах к Ньютону. Когда

Ньютон узнал об этомъ, он написал письмо Галлею, в котором дал волю своему гневу на Гука. Он пишетъ, что это уже третий раз Гук клеветает на него. Первая клевета обнаружилась, конечно, в отношении Гука к открытиям Ньютона по оптике (§ 292), вторая—в „ученической" поправке его сообщения об опыте для доказательства вращения земли. Эта поправка, говорит Ньютонъ, совершенно бессмысленна, так как он вовсе не говорил о форме пути внутри земли, а только о падении на поверхности земли, где тяжесть всюду одинакова; а теперь Гукъ является опять и утверждаетъ, будто он письменно сообщал Ньютону, что сила тяжести обратно пропорциональна квадрату разстояния — нечто такое, чего Гук сначала не думал и не говорилъ, что Гук и другие могли, конечно, думать раньше, но не могли доказать; об этом Гук в своем письме к Ньютону выражается даже неверно, указывая, что этот закон имеет силу также внутри земли, где онъ не имеет вовсе никакой силы. „Почему я долженъ" продолжает Ньютонъ, „признавать открывшим это человека, который обосновывает свое притязание на ошибку и потому обрушивается на меня. Еслибы человекъ, считающий себя ученым и желающий показать это, пришел к вамъ, когда вы заняты, и несмотря на ваши просьбы мучил вас своими открытиями, хотел исправить васъ, сам делая ошибки, чтобы затем хвалиться, что именно он научил вас всему этому первый, и который наконец утверждалъ, что с ним поступают несправедливо, если не признают этого, то я думаю, что и вы сочли бы его за человека довольно-таки невыносимого характера... Он ничего не сделалъ, а пишет такъ, как будто онъ знал все и все указал достаточно ясно. Он не привел самой простой работы съ вычислениями и наблюдениями и оправдывает это своими занятиями, тогда как ему нужно было оправдываться недостатком способностей... Математикъ, который все выясняетъ, должен довольствоваться званием вычислителя и простого работника, а другой, который только ставит требования и хватается за все, изъясляет притязания на все открытия как будущих ученыхъ, так и своих предшественниковъ".

На это резкое письмо, из которого мы привели только небольшую часть, Галлей ответил мягко и успокоительно, почему и Ньютон объявилъ, что письмо Гука к нему (1679), в котором идет речь о падении тела внутри земли, навело его всетаки на более внимательныя размышления об эллиптических путях планет вокруг солнца. Ньютон изъяснял также готовность в одно из предложений своего труда внести слова: „Как самостоятельно нашли также Рень, Гукъ и Галлей".

Из всего этого следуетъ, что труд Ньютона был порожден духом времени; можно сказать, как и во многих других подобных случаяхъ, что, еслибы не было Ньютона, то явился бы такой же труд какого-нибудь другого автора. Но нужно прибавить к этому, что Ньютон при единственной в своем роде умственной силе все это разъяснил сразу, как мановением волшебной палочки, тогда как в противном случае это, хотя и было бы разъяснено, но в гораздо более долгое время и усилиями многих исследователей.—Не всякий может следить за полетом мысли Ньютона в его „Началахъ". Мы ограничимся поэтому темъ, что остановимся на некоторых главных пунктах содержания этого бессмертного труда.

298. Когда мы подтверждали при помощи вычисления в § 293, что движение луны вокруг земли есть простое следствие закона инерции и тяжести, то мы ради

простоты допускали, что орбита луны есть кругъ, в центре которого находится земля. Это не вполне справедливо. Луна, как и планеты, движется вокруг солнца по эллипсу. Таким образомъ, желая получить совершенно достоверныя заключения, мы должны исходить изъ движений, каковы они на самом деле и как они определяются тремя законами Кеплера (§ 73). Ньютонъ математически строго извлекаетъ изъ этихъ трехъ законовъ три вывода. Коротко говоря, законы Кеплера и выводы Ньютонъ гласятъ следующее:

Первый законъ: Орбита планеты есть эллипсъ съ солнцемъ въ фокусе.

Следствие: Притяжение обратно пропорционально квадрату разстояния.

Второй законъ: Радиусъ-векторъ въ равныя времена описываетъ равныя площади (секторы).

Следствие: На планеты действуетъ притягательная сила, исходящая изъ солнца.

Третий законъ: Кубы среднихъ разстояний планетъ относятся между собою, какъ квадраты ихъ временъ обращения.

Следствие: На все планеты действуетъ одна и та же притягательная сила.

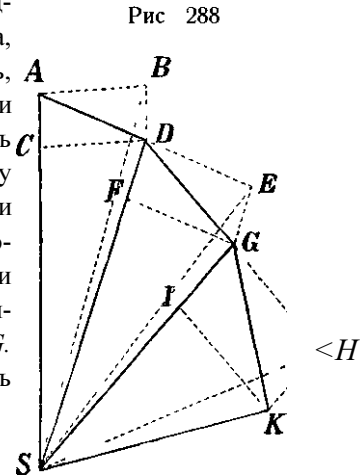
Какъ искусный математикъ, Ньютонъ доказываетъ эти положенія прямымъ и обратнымъ путемъ. Исходя изъ закона, онъ получаетъ следствия. С другой стороны, исходя изъ последнихъ, онъ получаетъ первые. Мы рассмотримъ это здѣсь несколько подробнѣе.

299. Пусть S (рис. 288) будетъ солнце, A планета со скоростью такого направленія и такой величины, что въ единицу времени она приходила бы въ B , если бы на нее не действовала никакая сила. Но предположимъ теперь, что на планету действуетъ сила, которая притягиваетъ ее къ солнцу, скажемъ, такъ, что въ единицу времени она достигаетъ точки C на линіи AS . В такомъ случаѣ планета въ единицу времени перейдетъ въ D (§ 147). В силу закона инерціи въ следующую единицу времени планета должна была бы пройти путь DE , который имѣетъ ту же величину и направленіе, что и AD . Но такъ какъ въ то же время она притягивается изъ D въ F , то она приходитъ въ точку G . В концѣ третьей единицы времени она приходитъ въ точку K . и т. д. Но, какъ легко видѣть,

$$Д ADS =$$

$$= Д$$

$$Д GHS = А$$



Действие центральной силы.

Такимъ образомъ, треугольники, которые радиусъ-векторъ описываетъ въ равныя времена, равны, именно $ADS = DGS = GKS$. Если мысленно уменьшить частицу времени до безконечности, то путь $ADGK$ будетъ кривой линіей; этимъ доказывается второй законъ Кеплера (рис. 57). — Обратный рядъ заключеній приводитъ къ результату, что действующая на планету сила исходитъ изъ солнца.

300. Такъ какъ пониманіе движенія по эллиптическимъ орбитамъ требуетъ математическихъ познаній, которыхъ мы не предполагаемъ въ нашихъ читателяхъ, то мы

должны удовольствоваться замечаниемъ, что первый Кеплеров законъ также достоверно приводитъ къ заключению, что сила должна уменьшаться в такой же степени, в какой увеличивается квадратъ разстоянія.

Мы хотели бы привести здѣсь контрольное вычисленіе только одного пункта. Эллипсъ представляетъ фигуру симметричную относительно обеихъ осей, малой и большой. Следовательно, орбита имеетъ ту же кривизну тогда, когда планета бываетъ ближе всего къ солнцу, т. е. когда ея скорость наибольшая, и тогда, когда планета находится на наибольшемъ разстояніи и ея скорость наименьшая. Это равенство кривизн легко доказать при помощи элементарнаго разсчета.

Пусть на наименьшемъ разстояніи отъ солнца (перигелии) радиусъ кривизны будетъ r , скорость v , центробежная сила, а, значить, и притяженіе, уравнивающее ее, f . Тогда (§ 173)

$$f = \frac{v^2}{r}$$

Точно такъ же на наибольшемъ разстояніи отъ солнца (афелии)

у-и

R

Изъ этихъ двухъ равенствъ следуетъ:

$$L = \frac{v^2}{f} \quad \text{или} \quad f \sim \frac{v^2}{L}$$

Если назвать теперь разстояніе солнца въ перигелии a и въ афелии A , то по второму Кеплерову закону два треугольника съ основаниями a и A и высотами v и V равны, следовательно:

$$\frac{a}{v} = \frac{A}{V} \quad \text{или} \quad \frac{a}{A} = \frac{v}{V}$$

Если въ предыдущемъ равенствѣ замѣнить $\frac{v^2}{r}$ черезъ $\frac{V^2}{R}$ то получится

$$\frac{L}{a} = \frac{L}{A} \quad \text{или} \quad L = \frac{a^2}{r}$$

Если теперь ввести предположеніе Ньютона о связи между разстояніями и притяженіями, именно

$$\frac{f}{L} \sim \frac{1}{L^2}$$

то получится, что $R/r = 1$ или $R = r$, т. е. кривизны въ перигелии и афелии равны. Если же, съ другой стороны, исходить изъ перваго закона Кеплера, что орбиты планетъ суть эллипсы, то эти радиусы кривизны должны быть равны и равенство

обращается въ

$$\frac{f}{L} \sim \frac{1}{a^2}$$

т. е. предположеніе Ньютона о зависимости притяженія отъ разстоянія оказывается вернымъ.

Законъ измененія силы тяжести съ разстояніемъ имеетъ сходство съ закономъ убыванія яркости при удаленіи отъ источника свѣта (§ 82). Однако, нельзя смот-



тель. Притяжение земли или тяжесть является наиболее известным из повседневного опыта проявлением этих притягательных силъ. Из того, что тяготение есть всеобщее свойство тел и что одно тело притягивается другим телом с силой, соответствующей массе послѣдняго, и. само, в свою очередь, притягивает другое тело с силой, соответствующей его массе, вытекаетъ, что обусловливаемая тяготением сила—давление или натяжение—пропорциональна массе как одного, такъ и другого тела, следовательно, пропорциональна и произведению масс обоихъ телъ.

Рис. 289

FK

NM

Орбиты земли и луны вокруг солнца.

Сила, с которой притягиваются к земле тела на земной поверхности, или весъ телъ, зависитъ только от собственной массы этихъ телъ, так как масса земли, а следовательно, и ея сила притяжения остается одной и той же для всехъ тел на ея поверхности. Таким образомъ, весъ тела и пропорционален его массе.

Если мы вообразимъ, что солнце, планеты и ихъ спутники перенесены на поверхность еще более огромного тела и положены тамъ рядомъ, то и здесь ихъ веса будутъ пропорциональны ихъ массамъ. Выше было указано, какъ Ньютонъ вычислилъ эти массы; и изображение на его надгробной плитѣ в Вестминстерскомъ аббатствѣ ангеловъ, взвѣшивающихъ небесныя тела на весахъ, не покажется слишкомъ неуместнымъ.

304. После того какъ были получены отношенія массъ небесныхъ телъ, оставалось еще определить абсолютное значеніе массы одной изъ планетъ, напримеръ, земли. Такъ какъ объемъ земли известенъ, то вопросъ в сущности сводится къ определению ея плотности. Можетъ показаться страннымъ — говорить о весе земли: говоря о весе какого-нибудь тела мы подъ этимъ подразумеваемъ ту силу, с которой оно притягивается землею. Но можно, разумеется, представить себѣ, что земля разбита на большое количество мелкихъ частей, что каждая изъ нихъ взвѣшена и возвращена обратно на свое мѣсто и что, наконецъ, найдена сумма весовъ всехъ такихъ частей. — Какъ мы сейчасъ увидимъ, позднее весъ земли былъ определенъ очень точно и вместе с темъ было найдено подтвержденіе закона всемирнаго тяготенія.

305. Первые попытки определения массы земли состояли в томъ, что массу земли сравнивали с массой какой-нибудь горы. Гора, масса которой в сравненіи с массой земли, конечно, ничтожна, но в сравненіи с массой другихъ предметовъ велика, должна оказывать заметное притяженіе на всякое близкое тело. Первые такіе опыты были произведены Бугеромъ и Кондаминомъ во время ихъ пребыванія в Южной Америкѣ (§ 278).

По мѣрѣ удаленія отъ земли, т. е. с поднятіемъ надъ уровнемъ моря, сила тяжести уменьшается в такомъ же отношеніи, в какомъ растетъ квадратъ разстоянія отъ центра земли. На вершинѣ высокой горы сила тяжести должна быть такимъ образомъ несколько меньше, чемъ у подошвы; причемъ это уменьшеніе нетрудно вычислить, если известна высота горы. Но такъ какъ сама гора имеетъ массу, ко-

торая при том ближе к наблюдателю, находящемуся на вершине, чем центр земли, то тело на вершине горы будет сильнее притягиваться книзу благодаря этой массе. Полученная таким образом величина силы тяжести вследствие этого должна быть несколько больше, чем вышло бы по непосредственному вычислению. Бугер и Кондамин определяли величину силы тяжести при помощи часов с маятником (ср. § 275); в результате своих вычислений они получили, что плотность земли в 4½ раза превосходит плотность горной цепи Кордильеровъ.

Названные физики пытались сравнить массу земли с массой горы еще и другим способом. Тело, находящееся у подошвы горы, подчинено, естественно, силе тяжести, направленной к центру земли, съ другой стороны и гора несколько притягивает тело, и при том в горизонтальном направлении. Эти две силы дают равнодействующую, которая направлена не совсем к центру земли, а несколько отклонена к горе. Бугер и Кондамин измеряли отклонение отвеса от вертикали вблизи горы Чимборасо и отсюда вычислили отношение масс земли и этой горы. Но для массы горы получилась такая ничтожная величина, что они нашли нужным допустить, что Чимборасо заключает в себе пустоты вулканического происхождения.

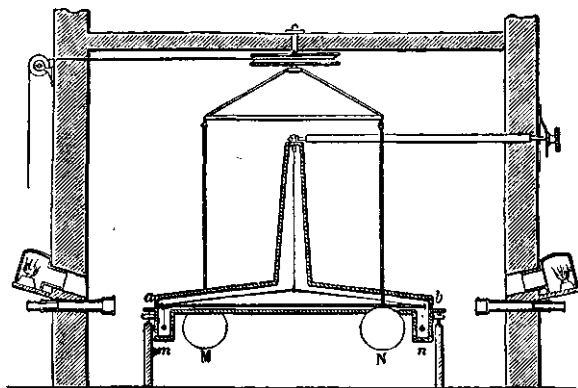
Идея была правильна, плохо было лишь выполнение. Подобный же опыт, но с лучшим результатом, был произведен Маскелайном в 1774 г. у горы Шегальон в Шотландии. Были взяты две точки, из коих одна лежала севернее названной горы, а другая южнее ея; расстояние между ними (найденное при помощи геодезических измерений) равнялось 1330 м. Разность географических широт (найденных измерением высоты полюса), т. е. угол, образуемый направлениями отвеса в обоих пунктах, равнялась 54'6", между тем как дуге въ 1330 м соответствует угол в 43". Таким образом, отклонение отвеса от вертикали составило 5'8". Представив себе массу горы сосредоточенной в центре тяжести горы, а массу земли—в ея центре, можно найти, что плотность земли должна быть в 78 раза больше плотности этой горы. Так как плотность горы была принята равной 2-61, то для плотности земли получилось число 4-7.

306. Джон Митчелль предложил другой прием, который должен был привести к очень надежным результатам. Но он умер, не успев произвести опытов. После его смерти опыты были произведены знаменитым английским химиком Генри Кэвэндишем (1731— 1810). Результаты своих опытов он обнародовал в 1798 г.

Помещение для этих опытов устраивают таким образом (рис. 290), чтобы, насколько возможно, устранить в нем какое бы то ни было движение воздуха. Наблюдатель находится вне комнаты и производит наблюдения при помощи зрительных труб, пропущенных сквозь стены. Над зрительными трубами устанавливаются лампы, бросающие в комнату свет, необходимый для отсчетов. В середине комнаты на серебряной проволоке подвешивается горизонтальный прут из елового дерева, на концах которого насажены шары m и n весом в 729 г каждый. Эти шары, прут и проволока помещены в деревянном ящике (на рисунке он заштрихованъ). Вне ящика на концах горизонтального стержня такой же длины, как и ab , висят два больших свинцовых шара M и N весом по 158 кг каждый. При помощи блока, приводимого в движение извне, можно вращать этот

стержень вокруг вертикальной оси, пропущенной сквозь потолок комнаты. В начале опыта линия MN образует с $a b$ прямые углы. При вращении большой шарь M приближается к маленькому шарiku m и больш.ой шар N к шарiku n . Через зрительныя трубы можно при этом заметить, что и маленькие шарики m и n приближаются к большим шарам M и N , вследствие чего серебряная проволока испытывает закручивание. Угол этого закручивания или, что все равно, дуги, описанныя шариками m и n , можно отсчитать при помощи зрительных труб, — и это служит мерою силы, с которой больш.и шары притягивают маленькие. Остается только решить вопрос, какая сила соответствует определенному углу закручивания. Это можно найти при помощи соответственных опытов различными приемами.

Рис. 290



Опыт Кэвэндиша.

Определив величину закручивания различной толщины серебряных проволок в зависимости от силы и от толщины проволоки и принимая во внимание, что при одном и том же закручивании сила обратно пропорциональна четвертой степени диаметра проволоки, можно вычислить приложенную силу по величине закручивания и по толщине проволоки.

Однако, здесь лучше всего определить силу непосредственно из опыта со взятой проволокой. Это можно найти, например, заставив прут $a b$ колебаться, закручиваясь и раскручиваясь, и наблюдая время его одного колебания. Отсюда можно определить величину силы, как и при колебаниях маятника.

Такими опытами Кэвэндишу удалось определить едва заметное притяжение, производимое большими свинцовыми шарами на маленькие. Сравнив это притяжение с весом маленьких шариков, т. е. с притяжением землй, — и приняв во внимание, что свинцовые шары и земля находились на равных расстояниях от m и n , Кэвэндиш нашел, что средняя плотность земли равна $5 \cdot 49$.

Такие же опыты и с тем же результатом были позднее произведены различными физиками, между прочим Бэли (1843). Он брал много различных шаров из разных веществ, даже из метеорного камня, с целью исследовать и вещества неземного происхождения. Во всех случаях он неизменно получал, что сила притяжения прямо пропорциональна весу шаров; это прямо подтверждает, что тяжесть есть проявление всемирного тяготения. Бэли в общем произвел около 2000

отдельных опытов. Из всех этих опытов среднее значение плотности земли получилось равным 5'67.

В новейшее время плотность земли была весьма точно получена Кёнигомъ и Рихарцом (1885), воспользовавшимися особыми весами, впервые примененными Жолли, а также Бойсом (1892 — 1895), применившим метод Кэвендиша. Ими были получены числа 5'51 (Кениг и Рихарць) и 5'53 (Бойсь).

307. В принципах Ньютона находит объяснение огромное количество астрономических явлений, — не только движения планет во всей совокупности под влиянием тяготения к центральному телу, но и целый ряд мелких отклонений, обусловливаемых влиянием других небесных телъ. Такъ, в движении луны есть много неправильностей вследствие того, что на нее оказывает влияние не только земля, но в сильной степени и солнце. Заметным образом влияют на луну и планеты. Этими влияниями обусловливается изменение эксцентриситета лунной орбиты и, следовательно, изменение ее скорости и разстояния от земли, изменение наклона лунной орбиты к эклиптике; изменения положения линии пересечения плоскости лунной орбиты с эклипкой; изменения видимой части поверхности луны и т. д. Мы ограничимся лишь указанием этих отклонений. В настоящее время все они могут быть вычисляемы с большой точностью.

308. Таким же образом въ движении планет можно заметить небольшие производимыя действием других планет отклонения (возмущения) от орбитъ, по которым их должна была бы двигать притягательная сила одного солнца. Эти отклонения (возмущения) также нашли себе объяснение и даже послужили для определения величины силы притяжения и, следовательно, массы этих других планетъ, что особенно важно для тех небесных телъ, у которых нет спутников и массы которых нельзя определить по разстоянию и времени обращения спутника.

В этой области теории всемирного тяготения принадлежит великая победа. В 1781 году В. Гершель открыл планету Уранъ, которую можно заметить простым глазом лишь при особо благоприятных обстоятельствах и которая явилась тогда самой далекой планетой в солнечной системе. Но еще до того, как Уранъ совершил полное обращение вокруг солнца (84 года), в его движении заметили возмущение, которое нельзя было объяснить притяжением Сатурна или Юпитера. Несколькими астрономами отсюда был сделан выводъ, что за пределами орбиты Урана должна существовать еще одна планета, — и были сделаны попытки определить по возмущениям Урана элементы неизвестной планеты, т. е. ее разстояние отъ солнца, ее положение и т. д. Но планета должна была находиться так далеко, что по слабости ее освещения солнцемъ заметить ее возможно было бы лишь с большим трудомъ; таким образом от вычислений до наблюдений оставался еще трудный шагъ. Бессель в Кенигсберге, вероятно, первым закончил вычисления, но болезнь помешала ему приступить к наблюдениямъ. Джон К. Адамс также вычислил положение этой планеты, но Эри, Королевский астроном в Гриниче, не хотел прерывать для поисков свои собственные работы. Вычисления Адамса были переданы Чаллису в Кэмбридже, который и взялся за розыски планеты. Но так какъ у него не было достаточно подробной карты этой части небесного свода, он вынужден был сперва заняться ее изготовлениемъ; позже оказалось, что он даже видел новую планету, но нанес ее на карту, как неподвижную звезду. Такимъ-то

образом Леверрье (1811 — 1877; с 1854г. директор Парижской обсерватории), первому удалось достигнуть цели, благодаря его вычислениям и энергии. Так как в Париже не желали браться за розыскание планеты, то Леверрье обратился в Берлин к Галле. Последний имел в своем распоряжении точные карты этой части неба и немедленно, в первый же вечер, а именно, 23 сентября 1846 года, он увидел новую планету и признал ее за таковую, так как она имела вид небольшого слабо светящегося диска. Планете было дано имя Нептунъ.

Впоследствии было выяснено, что результат вычислений Леверрье был не совсем точен, а именно, найденное им расстояние планеты оказалось слишком большим. Таким образом, только благодаря счастливой случайности он довольно верно указал направление, по которому следовало искать планету. Во всяком случае, Ньютонов закон всемирного тяготения получил прекрасное подтверждение в том факте, что на основании этого закона было открыто небесное светило; правда, об этом светиле нельзя сказать, — что его до тех пор не видели, так как в ранних звездных каталогах его можно не найти в том месте, которое оно занимало во время составления каталога, но как неподвижную звезду. Звездой его тогда считали потому, что перемещение его, вследствие огромности расстояния от солнца, чрезвычайно медленно.

309. После ознакомления с членами планетной системы мы считаем полезным сделать теперь обзор размеров планет. Однако, этому нужно сначала предпослать замечание относительно расстояния земли от солнца; об этом при Ньютоне существовало более правильное представление, чем во времена Гиппарха (§ 36), хотя вполне точно оно не было известно и тогда.

Зато весьма точно было известно отношение между расстояниями земли и планет от солнца. Для внутренних планет, Меркурия и Венеры, это отношение определяется легко. Для этого достаточно проследить, на какое число градусов могут удалиться эти планеты от солнца. Приняв какой-нибудь отрезок прямой за расстояние земли от солнца, построим при нем эти углы таким образом, чтобы земля находилась в общей вершине этих углов; из точки, в которой находится солнце, опускаем затем перпендикуляры на другие стороны этих углов. Эти перпендикуляры представляют радиусы орбит Меркурия и Венеры.

Чтобы найти то же отношение для внешних планет, необходимо сначала определить из наблюдений времени их обращений вокруг солнца. Зная, например, что время одного обращения Юпитера около солнца равно 12 годам, можно приступить к наблюдениям тогда, когда Юпитер и солнце находятся в противостоянии, т. е. когда земля находится в a (рис. 291), солнце в S , а Юпитер находится по направлению к известной неподвижной звезде S' . — Место планеты на линии $a S'$ не показывай на чертеже. — Спустя два месяца земля пройдет путь в 60° и будет находиться в точке B . Вследствие же того, что Юпитер за тот же промежуток времени совершит путь лишь в 5° , он будет находиться где-нибудь на линии Scm . Измерим теперь из нашего нового местоположения угол, образуемый лучами зрения $b S''$ к той же неподвижной звезде и Bn к Юпитеру. Последний должен находиться в точке пересечения J обеих линий cm и bn . Это и определит отношение между расстояниями земли и Юпитера от солнца.

Получив все такие отношения, нужно определить действительную величину

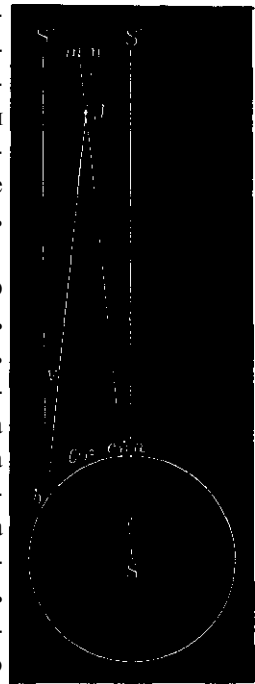
какого-нибудь одного разстояния при помощи этой одной величины и найденных отношений легко вычислить остальные разстояния.

Аристарх и Гиппарх (§§ 33 — 36) пытались измерить разстояние земли от солнца, но результат измерений (1000000 миль) был весьма неточен, так как определение момента, когда луна освещена как раз наполовину, слишком ненадежно. Измерения были повторены Коперником, Тихо Браге и Кеплером, причем последний получил в результате 3000000 миль. Но эти измерения были тоже ненадежны и результат, как мы увидим, был чересчур мал.

Доминик Кассини (§ 282) обратил тогда внимание на то обстоятельство, что Марс в противостоянии бывает вдвое ближе к земле, чем солнце, а иногда (когда он в перигелии) разстояние его от земли еще

рис. 291

меньше. По его предложению были предприняты наблюдения Марса одновременно в Париже и в Кайенне, причем для производства наблюдений в Кайенну был командирован по поручению Академии Рише. Измерения дали результат, близкий к истинному. Исходя из найденного разстояния Марса, было вычислено, что разстояние земли от солнца составляет около 18—19 миллионов миль.

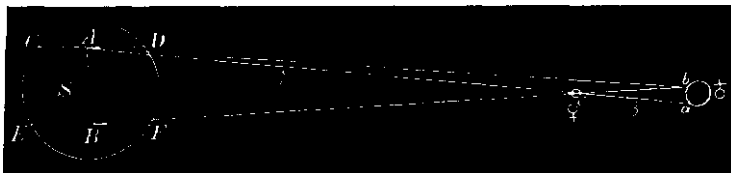


В таком положении находился этот вопрос во время Ньютона. Галлей (§ 297 и II, § 225) указал на то, что Венера во время соединений бывает к нам еще ближе, чем Марс. В это время она, вообще говоря, невидима. Лишь в редких случаях, когда она находится как раз на линии от земли к солнцу, она медленно проходит через диск солнца в виде черного пятна. Но это явление случается весьма редко, а именно, должно пройти более 100 лет, чтобы оно повторилось. Но тогда уже следуют одно за другим два прохождения с промежутком в 8 лет. После изобретения зрительной трубы „прохождение Венеры“ было предсказано Кеплером для 1631 года. Но, когда это случилось, Кеплер уже умер. Следующее прохождение было в 1639 году. Его наблюдали, но не воспользовались им так, как воспользовались, благодаря указанию Галлея, прохождениями 1761 и 1769 годов. Галлей приложил все старания к тому, чтобы этот благоприятный случай не был упущен. Старания его увенчались успехом и для разстояния земли от солнца было получено такое значение, которое по своей точности далеко превзошло все прежние. Еще более точное значение было получено в следующие затем прохождения Венеры — в 1874 и 1882 годах.

Рис. 292 разъясняет прием, которым пользуются при этом. Венеру наблюдают одновременно из двух пунктов на земле, a и b . Для наблюдателя в точке a Венера пройдет по линии CD , а для наблюдателя в точке b эта линия будет EF . Длины этих линий, равно как и разстояние AB между ними, что именно и является самым важным, — можно определить весьма точно, наблюдая время, употребляемое

Венерой для прохождения линий CD и EF . Так как угловые скорости движения земли и Венеры по их орбитам известны, то из продолжительности прохождения можно определить длину линии CD , а отсюда и расстояние ее от центра диска. То же самое имеет место и для EF ; таким образом, расстояние AB может быть выражено в частях диаметра солнца. Допустим, что оно равно Y_{90} Диаметра (на рисунке AB для большей ясности взято гораздо больше). Из подобия треугольников с основаниями AB и aB , с вершинами в c (Венера) следует, что расстояние Ве-

Рис 292



Наблюдение прохождения Венеры.

неры от солнца относится к ее расстоянию от земли, как AB относится к aB , а именно, как 7:3. Если, например, расстояние между наблюдателями в a и b равно 900 милям, то линия AB равна 2100 милям. Таким образом, V_{90} диаметра солнца равняется 2100 милям; следовательно, длина всего его диаметра равна приблизительно 189000 милям. Зная теперь диаметр солнца и его угловую величину (около Va^0) нетрудно определить его расстояние, которое составляет почти ровно 20000000 миль.

Новейшие измерения скорости света (§§ 287 — 288) дали новое средство для определения абсолютных величин расстояний в нашей солнечной системе. Определяя скорость света из наблюдений затмений спутников Юпитера, Ремер (§283) предполагал известной скорость земли. Можно, наоборот, вычислить скорость земли, исходя из известной скорости света. Отсюда получается расстояние земли от солнца, совпадающее с вышеприведенным числом.

Брадлей (§ 284), определяя скорость света, также считал скорость земли известной. И в этом случае можно вычислением в обратном порядке проверить указанное число.

310. В таблице на следующей странице сопоставлены главнейшие величины тел солнечной системы.

Большая часть приведенных в таблице чисел не нуждается в дальнейших объяснениях. Некоторое затруднение представляет определение продолжительности одного оборота планеты вокруг оси. Дело сводится к тому, чтобы, наметив определенную точку на поверхности, распознать ее снова, когда планета совершит полный оборот вокруг оси. Пятна на солнце непостоянны и, повидимому, обладают собственным движением по поверхности солнца, так как на экваторе они совершают полный оборот в 25 суток, а под 45° северной и южной широты приблизительно в 28 суток. Ближе к полюсам пятна наблюдаются редко.

У Меркурия и Венеры время вращения около оси равно времени оборота около

Наибольшим количеством спутников обладает Сатурн, который сверх колец имеет еще 8 лун. Числа, характеризующая эту систему, приведены в следующей таблице:

		Разстояние от центра в милях	Времена обращения		
			Сут.	Мас.	Мин
Поверхность Сатурна	I'	8500	—	10	14
Первое кольцо, внутренний край	,	10300	-	5	20
Граница между 1-м и 2-м кольцом		12300	—	6	57
Второе кольцо, внешний край	И	16800	—	11	6
Третье кольцо, внутренний край		17200	—	11	30
Третье кольцо, внешний край	•	19400	—	13	46
1-ый спутник, Мимас		27000	—	22	37
2-ой „ Энцелад		35000	1	8	53
3-ий „ етида	'	43000	1	21	18
4-ый „ Диона		56000	2	17	41
5-ый „ Рея		78000	4	12	25
6-ой „ Титань		181000	15	22	41
7-ой „ Гиперион		219000	21	7	8
8-ой „ Япетъ		512000	79	7	54

Времена обращений колец найдены не изъ наблюдений, а путем вычисления. Именно, разстояния спутниковъ и времена их обращений находятся в определенных отношениях согласно третьему закону Кеплера. Понятно, что кольца также должны следовать этому закону. Еслиб они обладали бблыпей скоростью, чем следовало бы по этому закону, ТО центробежная сила унесла бы их дальше от планеты. Еслибы, наоборот, они имели меньшую скорость, ТО они приблизились бы к планетѣ. Кольцо можетъ существовать лишь въ том случае, если оно обладает скоростью, соответствующей его разстоянию. В настоящее время доказано, что эти кольца представляют не сплошную массу, а скопления огромного количества мелких телъ. Только этим и возможно объяснить ТО обстоятельство, что кольца, с одной стороны, бросают тень на планету, а с другой—сквозь них видны неподвижныя звезды. Со времени открытия колецъ, т. е. за несколько последних столетий, внутренний край кольца, повидимому, приблизился к 'планете. Если это приближение будет продолжаться, ТО нет ничего невероятного в томъ, что вследствие столкновения кольца с планетой может произойти катастрофа, размеры которой трудно и предсказать.

Плоскости орбит спутниковъ Сатурна совпадают с плоскостью кольца. Одна лишь орбита 6-го спутника (Титана) заметно наклонена къ плоскости кольца и образует с ним угол в $7^{1^{\circ}0}$.

312. Прежде чем разстаться с планетной системой, взглянем на нее мысленно через лучший современный телескопъ, чтобы увидеть, не встретится ли тамъ где-нибудь нечто такое, что имело бы сходство с состоянием поверхности земли.

Прежде всего, что касается луны, ТО уже Галилей наблюдал на видимой части ея поверхности горы (§ 142), кольцеобразныя возвышенности диаметром въ 30 миль и безчисленное множество более мелких кратеров диаметром до 400 м. Галилей

тотчас же указал и прием для определения высоты этих гор по длине броса-емых ими теней. В настоящее время существуют весьма подробные лунные карты со всеми возвышенностями, даже более того — мы располагаем такими превосходными рельефными картами поверхности луны, что остается желать, чтобы карты поверхности земли не уступали имъ. Далее, на поверхности луны обнаружены борозды или расщелины (трещины, рис. 150), которые заметны не при всяком освещении. По высоте лунные горы только немного уступают горам на земле. А такъ как луна гораздо меньше земли, то в такой же мере ея горы относительно выше, чем неровности земли. К этому присоединяется еще то, что горы на луне имеют более резкия очертания, чем на земле.

Последнее обстоятельство объясняется темъ, что на луне отсутствует вода, так что отгугствует и ея разрушающее и нивелирующее действие. В то время, когда зрительная труба только входила в употребление, темные равнины на луне были названы „морями“; воды, однако, на луне нетъ. Еслиб луна обладала атмосферой подобно земле, то она рассеивала бы дневной свет и онъ освещал бы тени от горъ, так что оне казались бы серыми, а не черными, какими мы ихъ видим на самом деле. Сверх того звезда, закрываемая луною, не исчезала бы за диском луны мгновенно и не появлялась бы так же мгновенно; вследствие преломления света в атмосфере движение звезды у самого края луны замедлялось бы на несколько мгновений. Вероятно также, что звезда при этом слегка меняла бы свой цветъ. Если на луне и есть некоторое количество воздуха, то он должен быть в очень разреженном состоянии; чтобы он мог оставаться незаметнымъ, его плотность не должна превосходить Y_{300} плотности нашей атмосферы.

Так как вода и воздух отсутствуют на луне, то не может быть речи о какой-либо жизни на ней, как на -земной поверхности. Даже при помощи самыхъ совершенныхъ труб нельзя заметить ничего, что могло бы указывать на что-нибудь подобное. Поверхность луны, повидимому, пребывает в состоянии полной неподвижности. Иногда как будто замечали какия-то изменения в отдельных кратерахъ, но и это сомнительно.

Венера представляется совершенно окутанной туманом (облаками), так что на ея поверхности ничего нельзя увидеть. То же самое нужно сказать и о Меркурии.

Зато условия для наблюдения нашего соседа с другой стороны, Марса, весьма благоприятны, так как в то время, когда он к нам ближе всего, он обращень к нам освещенной стороной. Но то, что мы видим на поверхности этой планеты, настолько своеобразно и в такой мере отличается от условий земли, что Марсь до сих пор является для нас загадкой.

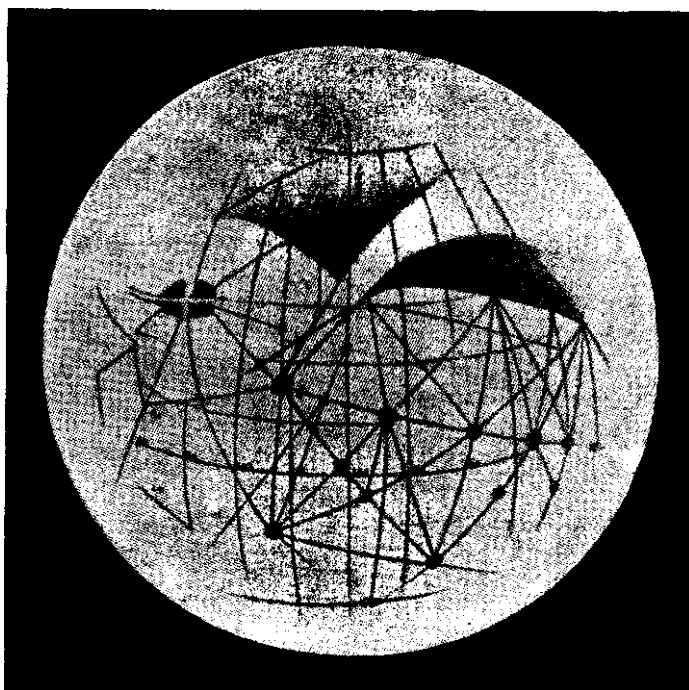
На северном и-южном полюсах Марса уже давно были замечены более светлыя пятна, которые становятся больше на том полюсе, где зима, и уменьшаются на томъ, где лето. Сейчас же, конечно, является мысль о массах льда и снегов у полюсов земли. Но тут же немедленно возникает и затруднение. Если принять во внимание, что на этомъ, значительно большемъ, разстоянии от солнца его тепловое действие почти вдвое слабее, чем на земле, то, как можно было бы думать, на Марсе так холодно, что вода должна быть там повсюду в замерзшем состоянии. Можно впрочем допустить, что Марс получил больший запасъ

теплоты, чем земля, например, вследствие столкновения с другим небольшим теломъ, или что этот снег — не замерзшая вода, а какая-либо другая жидкость.

Нетрудно было бы понять и ТО, что более темныя пространства, которыя раньше принимались за моря, несколько изменяют форму и величину; так как они не представляют одного сплошного бассейна, ТО уровень воды в этих морях могъ бы временами ТО повышаться, ТО понижаться. Возможно, наконецъ, что изображения их границ размываются облаками.

Но поверхность Марса, помимо этих изменений, представляет в высшей степени удивительное зрелище (рис. 293). Прямолинейные морские берега и совершенно прямолинейныя реки неизвестны на земле. Эти прямолинейныя реки на Марсе назвали

Рис- 293



Планета Марсъ.

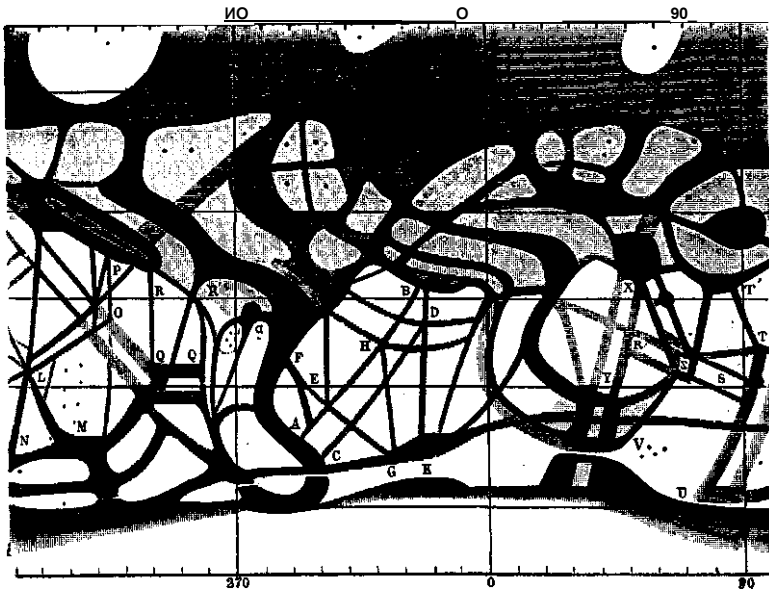
каналами; некоторые думали, что они сооружены высоко стоящими в умственном отношении существами. Но если принять в соображение, что „каналы" имеют много миль в ширину, ТО эта высокая интеллигентность упомянутых существ представляется нам непонятной. Тогда обратились к другим объяснениямъ, например, к тому, что эти линии представляют собой трещины в почве или во льду. Делались также догадки, что это суть полосы, покрытыя растительностью, направление которых обуславливается водопроводными приспособлениями, сооружениями разумных существ. Мы видимъ, таким образомъ, что здесь представляется широкое поле для полета фантазии, но разум мало удовлетворяется подобными предположениями.

Объяснение этого значительно осложняется своеобразным явлениемъ, которое

обыкновенно называют раздвоением каналовъ. Оно наступает в периоды равенства и состоит в томъ, что взамен одного канала появляется два параллельныхъ, разделенных полосами в несколько миль шириною (рис. 294). В последнее время этими явлениями усиленно занимаются, но до сих пор не удалось найти сколько-нибудь удовлетворительного объяснения имъ.

О поверхности Юпитера мы знаем очень мало. На ней замечается несколько темных параллельных полосъ, меняющих свой вид (рис. 149). Оне производят впечатление слоев облаковъ.

Рис. 294



Раздвоение каналов на Марсе.

313. Кеплер в молодости много размышлял относительно разстояний планет от солнца и нашел (§ 72), что в промежутках между шарами, построенными на орбитах планетъ, можно вписать пять правильных многогранниковъ. Аналогичныя умозрения можно встретить и в более близкое к нам время. Такъ, профессор Тициус (Тицъ) в Виттенберге обнарудовал в 1766 году следующий закон относительно разстояний планет от солнца, причем разстояние Меркурия было обозначено числом 4:

Меркурий	4 — 4
Венера	7 = 4 + 1 X 3
Земля	10 = 4 + 2 X 3
Марс	16 = 4 + 4 X 3
Юпитер	52 = 4 + 16 X 3
Сатурн	100 = 4 + 32 X 3

Позднее прибавился

Уран	196 = 4 + 64 X 3

Этот закон был потом формулирован Боде (1747—1826) с несколько измененными числами (8, $8+3X2$, $8+3X2^2$, $8+3X2^3$ и т. д.), которыя вернее

выражают действительные отношения. Поэтому его иногда называют также законом Бодe. Хотя этот закон выражает случайное совпадение, а не физическую закономерность, тем не менее он послужил поводом к поискам новой планеты на расстоянии $4 - J - 8 X 3 - 28$ (между Марсом и Юпитером γ). Образовалось даже общество астрономов, которые в 1800 году поделили между собою зодиак с целью разыскать новую планету.—Как раз в это время Пиацци в Палермо, не принадлежавший, впрочем, к упомянутому обществу, открыл в первый день нового столетия (1-го января 1801 года) небольшое тело, которое имело собственное движение и сначала было принято им за комету. Однако, впоследствии оказалось, что оно движется вокруг солнца по довольно близкой к кругу орбите. Болезнь заставила Пиацци прервать свои наблюдения с 11 февраля, а так как Бодe получил от него известие лишь в марте, когда эта планета уже исчезла в лучах солнца, то невозможно было точно определить ее орбиту. Следующею весною ее пришлось бы, так сказать, открывать сызнова, еслибы как раз в это время молодой Гаусс (II, § 241) не открыл нового способа определения элементов орбит планет, при помощи которого он мог вывести ее будущия положения на основании многочисленных наблюдений Пиацци. Планета была разыскана 31 декабря 1801 основателем упомянутого общества, Цахом в Готе, а в следующий вечер Ольберсом (1758—1840) в Бремене. Ей дали имя Цереры; ее расстояние от солнца (превосходящее расстояние земли в 2'77 раза) хорошо согласовалось с законом Тициуса.

Спустя несколько месяцев Ольберс открыл еще одну планету на расстоянии 2-77, орбита которой также была прочислена Гауссом. Она получила имя Паллады. Затем Гардингом (1765—1834) в Лилиентале близ Бремена была открыта Юнона на расстоянии 2*67 и Ольберсом (1807)—Веста на расстоянии 2*36. После некоторого промежутка Генке в Дризене открыл в 1845 году Астрею, и с этого времени число малых планет или планетоидов (астероидов) стало расти из года в год, так что в настоящее время их насчитывают свыше 500. Все они до того малы, что трудно определить точно их диаметры. Даже самая крупная среди них (Церера, Паллада, Веста) имеют в диаметре, вероятно, только от 30 до 40 миль.

Среднее расстояние астероидов колеблется между двойным и четверным расстоянием земли. Среди них совершенно особняком стоит Эрос, открытый Витом в 1898 году в Берлине. В то время как орбиты астероидов лежат в промежутке между орбитами Марса и Юпитера, орбита Эроса лежит между орбитами земли и Марса. В перигелии он приближается к земле на расстояние 2'7 миллионов миль. Орбиты астероидов частью сильно наклонены к эклиптике (Дерера $10\gamma_2^0$, Паллада $34^{3/4}^\circ$); вообще, орбиты этого роя малых небесных тел до того перепутаны между собой, что будь они твердыми кольцами, ни одного из них нельзя было бы удалить без того, чтобы не увлечь за ним и остальных.

Ольберс и другие высказали предположение, что астероиды суть не что иное, как обломки разрушившейся планеты, которая некогда помещалась между Марсом и Юпитером. В таком случае все они должны были бы иметь общую узловую точку и различные эллипсы, которые были описаны из этой точки отдельными телами, должны были бы снова сойтись в ней. Свои орбиты они должны были бы

сохранить до тех поръ, пока возмущающія действия друг на друга и со стороны планет не заставили бы их избрать новые пути. Во всяком случае, в настоящее время их орбиты слишком разошлись и никакой общей точки не имеютъ; если даже согласиться с тѣмъ, что астероиды представляют обломки когда-то существовавшей большой планеты, то со времени катастрофы, происшедшей с нею, необходимо должен был пройти огромный период времени.—Согласно другому воззрению, Юпитеръ, раньше явившійся результатом скопления вещества в этомъ месте, помешал образованию большой планеты из вещества астероидовъ. Некоторые, наконецъ, считаютъ, что рой астероидов представляет собою кольцо солнца, подобное кольцу Сатурна.

314. Замечательно, что Ньютон очень поздно выяснилъ, что и кометы подчиняются тем же законамъ, которым подчинены остальные небесныя тела.

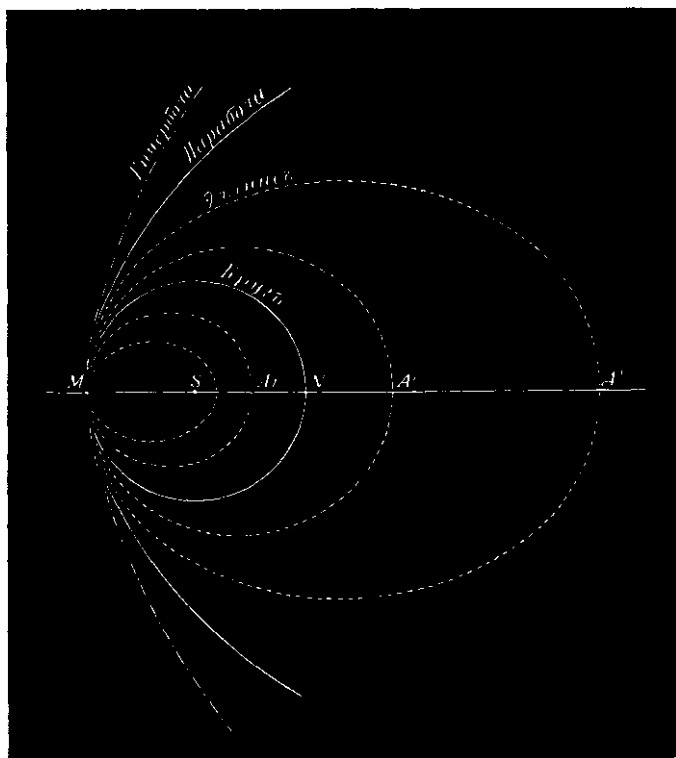
Тихо Браге нашел из своихъ измерений, что кометы находятся так далеко от земли, что их невозможно считать атмосферными явлениями и что оне должны быть небесными телами. Кеплер путемъ вычислений пришел к результату, что ихъ орбиты должны быть прямолинейны. Большая комета 1680 года была предметомъ тщательныхъ наблюдений, особенно со стороны Флэмстида (§ 284), полагавашаго, что комета, которая сначала была видима с одной стороны солнца, и комета, которая затемъ была видима с другой стороны солнца, была одна и та же. Он вступилъ относительно этого в переписку с Ньютономъ; но последний, к удивлению, оставался при томъ мнѣнии, что ея орбита прямолинейна. Дёрфель (1643—1688) вычислил орбиту этой кометы и нашелъ, что она представляет параболу и что комета в своемъ движении следуетъ Кеплерову закону площадей. Наконецъ, в 1686 г. Ньютонъ пришел к убѣждению, что движение комет также подчинено закону всемирнаго тяготения. Вслед за этимъ он показалъ, что подъ влияниемъ солнца всякое тело должно двигаться по одному изъ коническихъ сечений, в фокусе котораго находится солнце, и что вид и форма этого коническаго сечения будутъ вполне определены, если для даннаго момента известны положеніе тела, его скорость и направление движенія.

Для общаго обзора различныхъ орбит проще всего будетъ рассмотреть небесное тело в тотъ моментъ, когда направление его движенія перпендикулярно къ линіи, соединяющей его с солнцемъ, т. е. когда оно находится в точкѣ M (рис. 295). Если скорость в этой точкѣ такова, что центробежная сила равна силѣ притяженія, то орбита будетъ кругомъ MN . Если скорость меньше этого, то тело несколько приблизится къ солнцу и опишетъ эллипсъ $MA^{\wedge}$, такъ что L будетъ перигелиемъ, а M будетъ афелиемъ. Если же, напротивъ, скорость будетъ больше, то тело удалится отъ солнца и опишетъ путь MA' или MA'' , такъ что M будетъ перигелиемъ, а A' или A'' будетъ афелиемъ. Чемъ больше скорость в точкѣ M , темъ дальше отстоитъ афелий и темъ скорость в немъ меньше, такъ какъ действие солнца на движущееся тело при переходе отъ перигелия къ афелию состоитъ в замедленіи тела. Напротивъ, отъ афелия къ перигелию действие солнца на тело ускоряетъ движеніе и тело какъ бы падаетъ по направлению къ солнцу, но только не по прямой линіи. Если скорость в точкѣ M еще больше, то орбита будетъ эллипсомъ с безконечно удаленнымъ афелиемъ, т. е. параболою. Еще большая скорость в точкѣ M даетъ гиперболу. Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ наблюдению доступна лишь небольшая часть орбиты

вблизи солнца, так что трудно определить, есть ли орбита парабола, представляющая переход от эллипса к гиперболе, или же она есть гипербола.

Дёрфель определил орбиту кометы 1680 года и нашёл, что она параболическая, так что эта комета никогда больше не вернется к солнцу. Ньютон пришел к тому же результату. Тем не менее нет ничего невозможного в томъ, что эта комета описывает весьма растянутый эллипс приблизительно в 574 года. Если это такъ, то эта же комета была видима в 44 г. до Р. Х., в 531 и 1106 гт. по Р. Х, и в 2255 году она должна опять вернуться,

Рис. 295

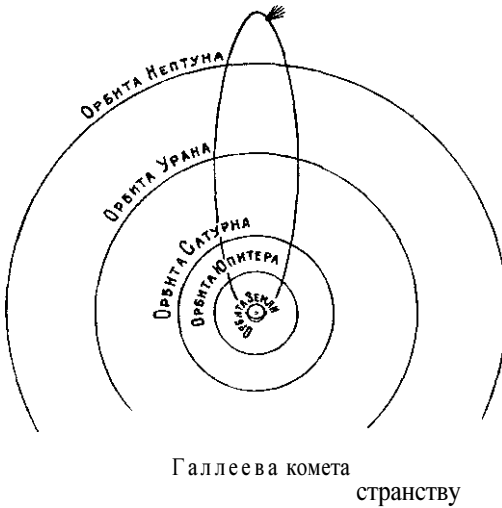
Вид орбиты небесного тела определяется его скоростью в точке M

Галлей вычислил орбиту кометы, появившейся в 1682 году, и нашёл, что она эллиптическая и что это небесное тело уже неоднократно появлялось раньше. Галлей предсказал возвращение этой кометы для 1758—1759 г., что и сбылось. В 1835 г. она снова появилась; таким образом, „комета Галлея“ является первой кометой с несомненно эллиптической орбитой (рис. 296). Наименьшее расстояние ее от солнца равно $0^{\circ}59$, а наибольшее — $36\frac{1}{4}$ расстояния земли. В наименьшем расстоянии от солнца она ближе к нему, чем Венера, в наибольшем—дальше Нептуна. Скорость ее достигает 17 миль в секунду в перигелии и $\frac{1}{a}$ мили в афелии. По всем вероятностям, это та самая комета, которую видели в 11 г. до Р. Х.

незадолго до смерти Агриппы. Вполне увереннымъ, что комета движется по эллипсу, можно быть лишь в том случае, если ее наблюдали вблизи солнца несколько разъ. Это имело место в отношении приблизительно дюжины кометъ; но все оне, за исключением кометы Галлея, невидимы для простого глаза. Между наблюдавшимися по одному разу есть кометы, в том числе большия и яркия, имеющия периодъ обращения свыше 100 летъ. Есть и такія, которыя пересекли солнечную систему по гиперболической орбите и которыя никогда больше не возвратятся к солнцу.

Плоскости кометныхъ орбит занимають иное положение, чем плоскости планетныхъ. Часто оне перпендикулярны к последнимъ. Равнымъ образом и направление

Рис. 296 их движения бывает иное; в не-



которых случаях оно даже прямо противоположно направлению, въ котором движутся планеты. Если, далее, принять во вниманіе, что не только солнце, но и большия планеты оказываютъ притягательное действие на кометы, так что орбиты последнихъ могутъ значительно изменяться, когда оне проходятъ вблизи планетъ, то можно признать правильнымъ мнѣніе, что кометы являются чуждыми телами въ солнечной системе, которыя на своемъ пути по мировому пространству попадаютъ подъ действие притяжения солнца и вслед-

ствие этого должны двигаться около солнца по одному изъ коническихъ сечений. Кометы, вообще говоря, должны двигаться по гиперболамъ, такъ какъ приходятъ изъ бесконечно удаленныхъ мѣстъ. Но если случится, что Юпитеръ или другая планета изменитъ путь кометы, то последний можетъ стать эллиптическимъ и комета уже будетъ двигаться в солнечной системе до тѣхъ поръ, пока Юпитеръ или другая планета снова не изменитъ ея орбиты и не направитъ кометы, такимъ образомъ, опять в мировое пространство. Последнее произошло, напримеръ, с кометою Лекселля в 1781 г.; она описала вокругъ солнца замкнутый путь, но затемъ снова подошла къ Юпитеру слишкомъ близко.

Наблюдали также иногда, что комета распадалась на две — три более или менее отдельныхъ кометъ, которыя в концѣ концовъ делались невидимыми. В такихъ случаяхъ вместо кометы наблюдался впоследствии обильный рой падающихъ звездъ, двигавшихся по орбите кометы.

315. В своей книгѣ „Ргипсириа“ Ньютонъ разъяснилъ также некоторыя астрономически-географическія соотношенія. Онъ показаль, что сила тяжести должна убывать не только с поднятіемъ надъ поверхностью земли, но также и в томъ случае, если мы станемъ опускаться внутрь земли, такъ какъ в этомъ случае часть ея массы, находящаяся надъ нами, действуетъ в направленіи, прямо противоположномъ притяженію къ центру. Ньютонъ доказаль, что сферическій слой не оказываетъ никакого

притяжения на массы, находящиеся внутри его. Поэтому, если мы находимся в какой-либо точке внутри земли, ТО мы испытываем притяжение только со стороны такого шара, радиус которого равен расстоянию этой точки от центра земли.

В § 276 мы видели, что Гюйгенс и Ньютон пришли к различным результатам в отношении сжатия земли, так как Гюйгенс сосредоточил всю силу притяжения в центре, между тем как Ньютон распределял ее равномерно по всему шару. Но и в настоящее время еще нельзя сказать ничего определенного относительно распределения масс в земле, хотя достоверно известно, что плотность земли в среднем равна 5'5 (§ 306), тогда как поверхностные слои (вода, твердые пласты) обладают гораздо меньшей плотностью.

316. Равным образом была объяснена Ньютоном и прецессия (§ 44) — явление, открытое Гиппархом и состоящее в том, что земная ось не сохраняет своего направления в пространстве, но описывает коническую поверхность в 26000 лет. Дело в том, что в силу инерции всякое тело стремится сохранить свое положение. У быстро вращающегося тела это стремление проявляется иначе, нежели у тела, находящегося в состоянии покоя. В последнем случае это стремление выразится в виде сопротивления, которое нужно преодолеть для изменения положения тела. В том же случае, когда тело находится в состоянии вращательного движения, это движение складывается с тем, которое стараются сообщить телу, и в результате получается совершенно новое движение.

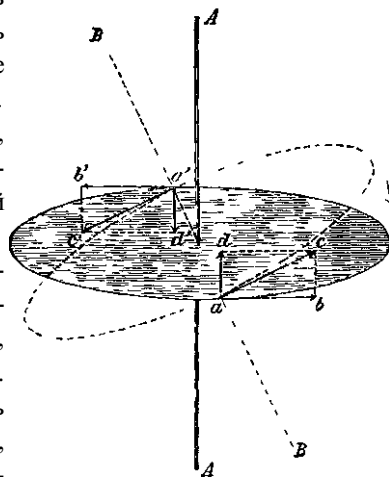
Если бы мы, например, пожелали изменить положение оси AA быстро вращающегося круга (рис. 297) таким образом, чтобы верхний конец ее переместился книзу, а нижний конец — вперед, то точка a круга должна была бы перейти в d , а точка a' в d' . Но так как эти точки вследствие вращения круга должны переместиться в b и в b' , то по правилу параллелограмма скоростей (§ 176) точка a перейдет в c , SL точка a' в C' . Таким образом, круг займет наклонное положение, обозначенное пунктиром, а ось займет положение BB . Значит, если сила стремится повернуть ось, то ось перемещается не по направлению действия силы, а в плоскости, перпендикулярной к этому направлению.

Если, например, на полу вертится волчок в наклонном положении, то можно было бы подумать, что он должен упасть. И так как он опирается лишь на острие. Однако, волчок не падает. Верхний конец оси перемещается не вниз, а в сторону, описывая при этом окружность около вертикальной линии. Чем больше волчок наклонен, тем более удивительным кажется,

что он не опрокидывается. Если ось волчка вращается в кольце (рис. 298), которое

насажено на острие o при помощи придатка n , то кольцо держится в горизонтальном положении и, вместо того чтобы упасть, вращается горизонтально вокруг

Рис 297



Сложение

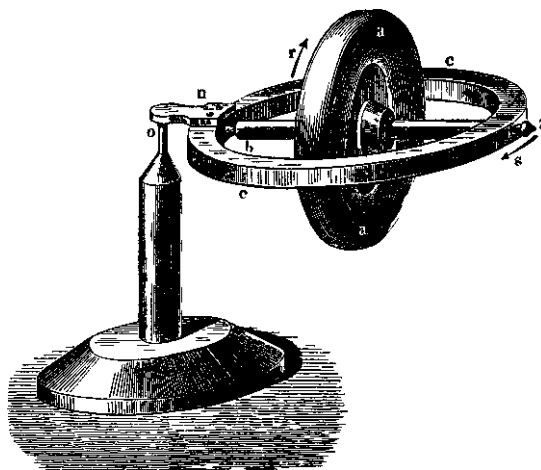
двух

острия *O*. Если производить на кольцо давление книзу, ТО оно только ускорит свое движение. Если пытаться надавливанием ускорить движение кольца, ТО оно поднимется над горизонтальным положением; если же задерживать его, ТО оно опустится ниже¹⁾.

Так как земля сжата и так как эта чечевица — если можно так называть сплюснутую землю — не лежит в одной плоскости с солнцем и луной, ТО последние стремятся повернуть чечевицу в свою плоскость, т. е. стремятся поставить ее ось перпендикулярно к этой плоскости. Следствием этого является ТО, что ось перемещается не по тому направлению, по которому стремятся двинуть ее солнце и луна, а перпендикулярно к этому направлению. Вследствие этого ось должна описывать коническую поверхность (ср. рис. 25).

Брадлеи, как мы видели (§ 285), открыл другое движение земной оси с периодом в 18 лет. Оно находится в связи с соответствующими колебаниями

Рис 298 лунной орбиты, которая не совпа-



дает с земной орбитой, а составляет с нею угол приблизительно в 5° . Мы можем рассматривать землю и луну, как вращающуюся чечевицу, плоскость которой не вполне совпадает с Ию плоскостью, определяемую притягательной силой солнца. Следствием этого является колебание плоскости лунной орбиты и вместе с тем земного экватора или земной оси с периодом в $18\frac{1}{2}$ лет.

Ось волчка вращается в Иоризонтальной плоскости и пролиль свои на явления прилива и отлива, до него представлявши заиадку.

Само явление было извесно с незапамятных времен. Греческий Иеограф Страбон (род. в 66 г до Р. Х.) рассказывает, что уже финикияне знали о приливах и отливах. В Средиземном море, как в море внутреннем, нельзя, конечно, наблюдать это явление, но финикияне выходили через „Геркулесовы столбы“ и в открытый океан. Они заметили, что это явление находится в зависимости от луны и что оно особенно интенсивно во время полнолуния и новолуния. Плиний и Плутарх (род. в 50 г. по Р. Х.) рассказывают нечто подобное о Пие из Массалии, который заходил далеко на север до острова улс.

Для объяснения этого явления делались различные предположения. Итальянский иезуит Кабео (1585—1650) полагать, что луна производит на дне морском какое-то спиртное вещество, которое и обуславливает прилив. Стевин говорит о притягательной силе луны. Но так как на противоположной стороне земли тоже

¹⁾ Иодробнее см Перри, *Вращающийся волчок*. 2-е изд. Одесса, Mathesis 1907

бывает одновременно высокая вода, ТО он полагать, что и с этой стороны должна существовать притягивающая точка. Кеплер тоже догадывался о притягательной силе, НО объяснить явление он не могъ. Галилей отверг эти объяснения и говорил о центробежной силе. После открытия давления воздуха некоторые полагали, что луна производит изменения в давлении воздуха, что в свою очередь оказывает влияние на уровень моря. Другие довольствовались темъ, что считали это явление тайной природы.

В своих „Началахъ" Ньютон выступил с объяснениемъ, что прилив обусловливается разностью между притяжениемъ, оказываемым луною на обращенное к ней море, и притяжениемъ, оказываемым ею на самое ядро земли, Это и вызывает поднятие воды на этой стороне земли, *ИН*, рис. 299. Далее, с противоположной стороны также существует разность притяжений, производимых луною на море и на ядро земли. В этомъ случае луна как бы оттягивает землю от воды, так что и тут море поднимается над поверхностью земли (*KL*).

Легко сейчас же заметить, что и солнце МОЖЕТ вызывать нечто подобное; можно было бы подумать, что влияние солнца должно быть сильнее влияния луны, так как солнце, несмотря на большую отдаленность, притягивает землю гораздо сильнее, чем луна, благодаря своей огромной массе. Но здесь дело не в самой притягательной силе, а лишь в разности притяжений на твердую часть земного шара и на море. Это можно лучше всего разъяснить при помощи небольшого расчета.

Пусть масса земли будет 1, тогда масса луны будет приблизительно $\frac{1}{81}$ а масса солнца — 320000. Если принять радиус земли равным 1, ТО расстояние луны будет 60, а расстояние солнца $60 \times 400 = 24000$. Притяжение, оказываемое луною на ближайшую часть земли, составит в такомъ

случаѣ $\frac{1}{81} \times \frac{1}{60^2}$ тяжести на земной поверхности, а притяженіе луною центра

земли будетъ $\frac{1}{81} \times \frac{1}{61^2}$. Разность этихъ притяженій будетъ

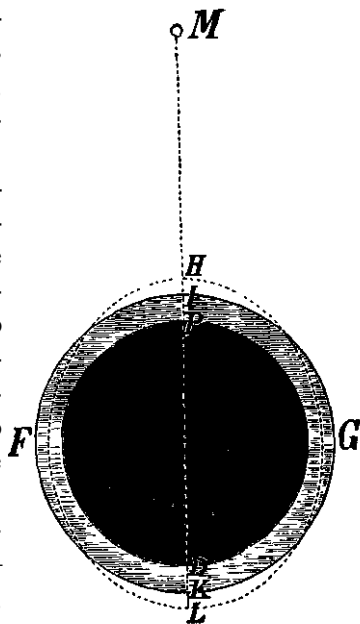
$$\frac{1}{81} \times \frac{1}{60^2} - \frac{1}{81} \times \frac{1}{61^2} = \frac{1}{81} \cdot \frac{61^2 - 60^2}{60^2 \times 61^2} = \frac{1}{8800000} \text{ (приблизительно).}$$

Разность притяжений, производимых солнцем на поверхность земли и на ея центръ, будетъ

$$\frac{320000}{24000^2} - \frac{320000}{24001^2} = 320000 \times \frac{24001^2 - 24000^2}{24000^2 \times 24001^2} = \frac{1}{22000000}.$$

Таким образомъ, действие солнца равно $\frac{2}{5}$ действия луны. Если мы сравним силы

Рис. 299



Приливъ и отливъ.

притяжения солнцем центра земли и противоположной стороны земного шара, то получим тот же результат.

Отсюда мы заключаем, что при совместном действии солнца и луны величина этого действия будет $1 - J - \frac{2}{5} = \frac{7}{5}$. Тогда мы будем иметь самый высокий прилив. Когда же солнце и луна действуют в направлениях противоположных (во время квадратур), то величина их действия будет лишь $1 - \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$. В это время будет низкий прилив.

Так как земля совершает в течение суток полный оборот, то в каждом месте земли ежедневно должно быть два прилива и два отлива. Но вследствие того, что волна прилива в своем движении с востока на запад задерживается Старым Светом, а также и Америкой, явление прилива происходит безпрепятственно лишь на юге от Африки и Америки. Движение приливной волны подвержено значительным изменениям, вызываемым неодинаковостью глубины моря в различных местах, а также формой и распределением материков и островов. Вследствие этого в данном месте берега высокий прилив будет не в тот момент, когда луна проходит через меридиан, а спустя определенное число часов; сведения об этом времени дают морские календари. Равным образом, высокие приливы достигают максимума не во время полнолуния и новолуния, а на день, а то и на несколько дней позже.

318. Так как земля вращается с запада на восток, между тем как луна заставляет волну прилива стоять как бы неподвижно, то она в известной мере является тормазом, уничтожающим часть энергии движения земли. Тем не менее скорость вращения земли не изменилась от этого сколько-нибудь заметно с начала исторического периода, так как продолжительность суток остается неизменной уже 2000 лет. Упомянутый в § 21 период затмений все еще состоит из такого же точно числа дней (6585'32), как и тогда. Следовательно, и единица времени, сутки, остается та же.

На луне, с другой стороны, когда она еще была в более жидком состоянии, также, вероятно, была пара мощных приливных волн, обязанных своим существованием земле и уничтоживших скорость ее вращения. Луна постоянно обращена к земле одной и той же стороной и в эту сторону несколько удлинена по направлению к земле. Таким же образом, вероятно, и время вращения Меркурия и Венеры постепенно сравнялось с периодом их обращения вокруг солнца, благодаря приливным волнам, вызванным влиянием солнца.

319. Блестящей математической обработкой вопроса о движении небесных тел, с чем мы познакомились в общих чертах, Ньютон больше, чем кто-либо другой, выяснил основы механики и по отношению к этой именно стороне его деятельности не покажутся преувеличением два стиха его более молодого современника Попа:

„Nature and Nature's Laws lay hid in Night.
God said, Let Newton be, and all was light“¹⁾.

С именем Ньютона мы встречаемся, однако, и в других областях физи-

*) Природа и законы природы были окутаны мраком. Бог рек: Да будет Ньютон, и все стало светом.

ки, в которых им совершено много великого. Но здесь мы находим также и ошибки: и огромный авторитет Ньютона был причиной того, что теорш основанныя на этих недоразумениях, служили препятствием к широкому распространению правильных понятий почти еще цѣлое столетие.

Ньютон является одним ить сравнительно немногих естествоиспытателей прежняго времени, которые еще при жизни получили достойную оценку своих заслугъ. В 1695 году Ньютон получил должность при королевском монетномъ дворе, что приносило ему ежегодно около 5000 рублей, причем он сохранял за собою профессуру в Кэмбридже; в 1699 году он получил должность главнаго начальника монетного двора съ содержанием въ 12000 рублей. Он переехал на жительство в Кенсингтонъ, причем тогда же был избран председателем Royal Society. На склоне дней своих он пользовался заботливым уходом со стороны своей племянницы, г-жи Кондюи. Ньютон умер в 1727 году в возрасте 85 летъ, оставив после себя значительное состояние. По распоряжению короля Георга I останки его были погребены в Вестминстерском аббатстве с большою пышностью.

Интересенъ взгляд Ньютона, высказанный им уже в преклонном возрасте, относительно соотношеня между человеческим исследованием и его предметом — природой¹. „Я не знаю, какого мненш будет свет о моих трудахъ; я же лично смотрю на себя, как на ребенка, когорый, играя на морскомъ берегу, нашель несколько камешков поглаже и нескопко раковин попестрее, чем удавалось другимъ, но неизмеримый океан оставался пред моим взором неизследованнымъ“.

После Ньютона осталось гакже несколько сочинений религиозного содержания. Они вышли в свет в 1736 году, в них идет речь о пророке Даншле и объ Апокалипсисе. Бю высказал взглядъ, что эти сочинения возникли в период душевной болезни автора. Но Брюстер показаль, что Ньютон неизм%нно сохранял свои духовныя силы, за исключением одного весьма короткого периода, вызваннаго переутомлением. Но он тогда же совершенно оправился, а появление указанных сочинений относится к более позднему времени. За несколько дней до смерти Ньютона еще руководил заседанием въ Royal Society.

Неподвижныя звезды

320 К концу XVIII столетия движенш тел солнечной системы были изучены путем наблюдения и, наконецъ, теоретически обоснованы Ньютоном. Но небо неподвижных звезд считалось в это время чемъ-то совершенно неизменнымъ. Единичныя наблюденш, какъ, наиримеръ, открытие новой звезды Тихо Браге (§ 67), служили, однако, указанием на то, что изменения не совсем невозможны. Но уже давно было признано, что годичное движение неподвижных звезд относительно солнца (§ 29), равно как прецессия (§ 44) и аберрашя (§ 284) обуславливаются не собственным движением неподвижных звездъ, а движением земли,—и все попыпки определить разстояния неподвижных звѣзд терпели крушение. Для исследования звезднаго неба требовались более точныя инструменты, чем те, какими располагали в то время наблюдатели, — и первый, кто их ввел в употреблеше, занимался вначале астрономией, как любитель, наряду со своей главной профессией.

321. Вильям Гершель родился в 1738 году в Ганновере, который тогда

был объединен с Англией личной унией Отец его, военный музыкантъ, быть образованным человекомъ; его мать была толковая, практичная женщина, которая, впрочемъ, не получила высшего образования. Многочисленные дети их все были музыкальны; но только сыновья, среди них и Вильямъ, имели возможность усовершенствоваться в музыке. Семнадцати лет от роду он сделался гобоистомъ въ ганноверской гвардии, с которой он перешел в Англию. Спустя несколько лет Гершель оставил службу, стал давать уроки музыки и принимать участие въ концертахъ; позднее он сделался органистом в Галифаксе, а потом в Бате.

Здесь он давал концерты, имел много уче- Рис. 300

ников и вообще занималъ весьма видное положение в музыкальном мире. Наряду с музыкальной деятельностью, которая отнимала у него около 14 часов в сутки, он по вечерам изучал языки, математику, оптику и астрономию. После смерти отца он взял к себе своего младшего брата, Александра, а спустя несколько лет и младшую сестру, Каролину. Брат и сестра должны были впоследствии стать его помощниками: братъ, механикъ, помогал при шлифовке зеркалъ, а сестра при наблюденияхъ.

Занимаясь астрономией. Гершель был до того увлечен желанием увидеть небесныя тела собственными глазами, что не успокоился до тех поръ, пока ему не удалось в 1774 году изго-



Вильям Гершель

товить зеркальный телескоп с фокусным расстоянием в $5V_2$ футовъ. Его усердие в этих занятиях доходило до того, что для наблюдений над звездами он пользовался даже антрактами во время концертовъ.

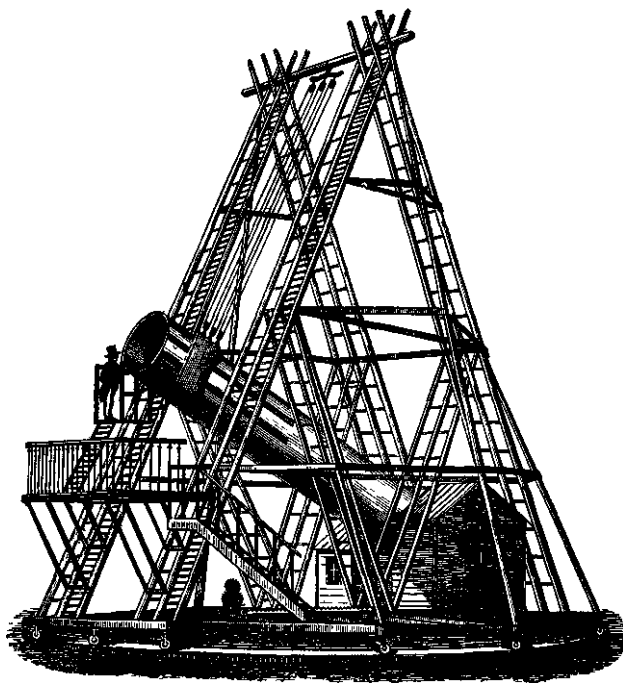
После первого удачного опыта он стал изготовлять телескопы один за другимъ. Шлифовались зеркала в 7, 10, 20 футовъ. Весь дом превратился в мастерскую; а так как во время этой работы он не мог оставаться без умственной пищи, то его сестра, Каролина, должна была читать ему вслухъ, пока онъ днем работал над шлифовкой зеркалъ. По вечерам он превращался в музыканта, а по ночам производил наблюдения со своим телескопомъ. Для отдыха онъ давал себе лишь немного времени.

Его наблюдения, однако, не были только любопытным осматриванием неба. Он тщательно изучал звездное небо, одну часть за другою, занося все, что подмечал относительно положения, яркости и цвета звездъ. Таким образом он уже в 1781 приобрел такую уверенность и опытность в производстве наблюдений, что 13-го марта этого года мог заметить в созвездии Близнецов звезду с несколько ббльшим дискомъ, чем у прочих звездъ. Он заподозрилъ, что это была комета. Вскоре выяснилось, что она обладает собственным движениемъ. Изследовавъ более подробно ея орбиту, имевшую, как оказалось, почти форму окружности, Гершель признал в ней планету, которая двигалась вне орбиты Сатурна. Онъ назвал ее „звездой Георга" (Georgium sidus) в честь короля. Впоследствии ей дали, однако, имя Урана. Теперь Гершель сразу стал знаменитымъ. По приглашению

короля он посетил Гринич и Виндзоръ. Его телескопъ, который он здесь демонстрировалъ, превзошел своими достоинствами все инструменты Гриничской обсерватории, — и король, равно как и королевский дворъ, с большим усердиемъ наблюдали звезды с помощью этого телескопа. Король сделал Гершеля придворным инструментальным мастером и в виду этого Гершель перебрался съ сестрой Каролиной в Виндзоръ. Вначале он получал столь незначительное содержание, что был вынужден уделять много времени музыкальным занятиямъ, въ виду чего мало отдавался астрономии. Когда это дошло до короля, материальные обстоятельства Гершеля были улучшены; ему была отпущена значительная сумма, давшая ему возможность построить знаменитый гигантский 40-футовый телескопъ (рис. 301).

С этого времени наступает плодотворный для астрономии рядъ лѣтъ. Въ 1783 году Гершель женился на женщине из состоятельной семьи и переселился

Рис. 301



40-футовый телескопъ Гершеля.

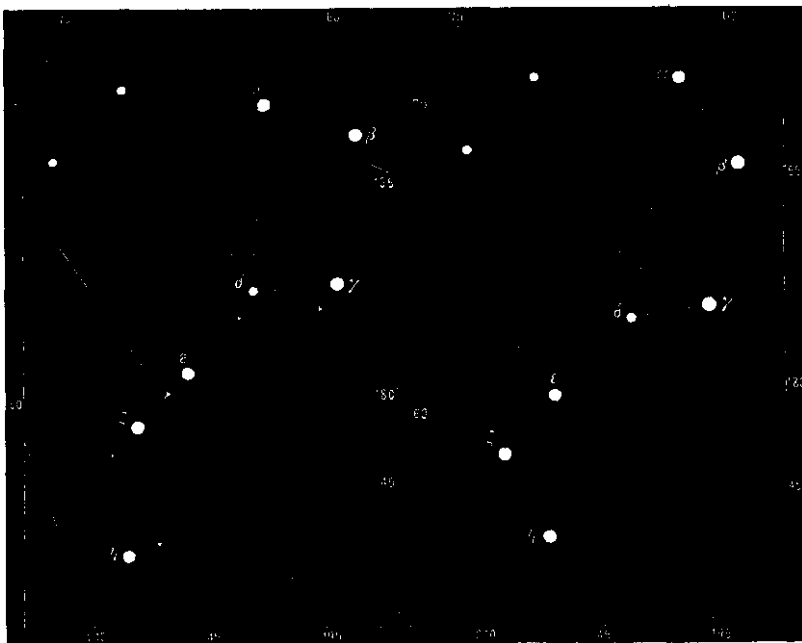
в Слоу близ Виндзора. Его сестра последовала за ним на новое местожительство и проявила здесь значительную астрономическую деятельность. Она, например, открыла целых восемь кометъ.

Сам Гершель открыл двух спутников Сатурна и двух спутников Урана. Восьмой спутник Сатурна, а также третий и четвертый спутники Урана были открыты лишь в середине XIX века Ласселем в Ливерпуле. Главная же заслуга Гершеля заключается в томъ, что он исследовал звездное небо; о своих открытиях он в течение ряда лѣтъ послал массу сообщений в Royal Society в Лондоне.

322. Благодаря наблюдениям Гершеля, звездное небо, считавшееся до того времени твердо, неизменным сводомъ, превратилось в безчисленное множество свободно парящих солнцъ. При помощи своих тонких измерений, Гершель нашелъ, что звезды меняют свое положение, хотя и очень медленно. Оне меняют свое взаимное расположение так медленно, что только по прошествии тысячелетий можно будет заметить изменения непосредственным наблюдениемъ. Галлей еще до этого обратил внимание на то, что Сириусъ, Арктур и Альдебаран находятся, повидимому, на $1/2^\circ$ южнее, чем в каталоге Птолемея. На рис. 302 изображена Большая Медведица в нынешнем виде (слева) и через 36000 лет (справа). На первом рисунке стрелками обозначены направления, по которым движутся отдельные звезды.

Кроме собственного движения отдельных звезд Гершель нашел еще общее всем звездам движение, которое он объяснил движением солнечной системы въ

Рис. 302



Большая Медведица теперь и через 36000 летъ.

мировом пространстве. Именно, Гершель нашелъ, что все звезды в созвездии Геркулеса и вблизи него (рис. 303) удаляются от одной определенной точки, обозначенной на рисунке маленьким кружкомъ. То же можно заметить в лесу, когда направляешься к определенной цели. Деревья, стоящая справа от этой цели, уходят вправо, деревья, стоящая слева от цели, уходят влево; верхушки же деревьевъ поднимаются по мере приближения все выше и выше. На противоположной стороне неба Гершель нашел точку, к которой звезды приближаются, подобно деревьямъ в лесу, которыя как бы сходятся в то место, откуда мы уходимъ.

323. При помощи телескопа Гершеля, благодаря его размерамъ, можно было

увидеть бесчисленное множество звезд. Говоря обыкновенно „бесчисленном множестве“ звезд, мы выражаемся не совсем точно, если мы имеем в виду только звезды, видимыя простым глазомъ, так как число этих звезд определить не очень трудно.

По яркости звезды делятся на различные классы. Самыя яркия звезды составляют класс звезд первой величины. Звезды седьмой величины можно еще видеть, но уже с большим трудомъ. Во всяком случае, чтобы видеть ихъ, нуженъ зоркий глаз и прозрачное небо. Следующие классы можно видеть лишь при помощи телескопа; и число звезд тем больше, чем сильнее телескопъ. Число звездъ первых классов приблизительно следующее:

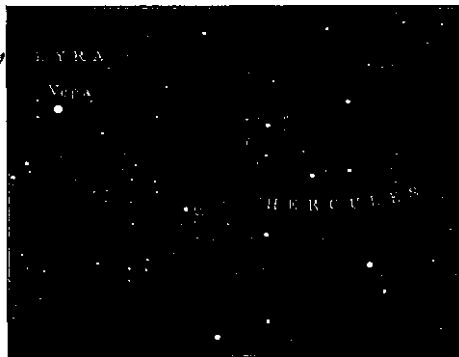
Величина:	1.	2.	3.	4.	5.
Число:	21	65	200	425	1100
Величина:	6.	7.	8.	9.	
Число:	3200	13000	40000	142000	

О томъ, как неизмеримо велико число звезд высших классовъ, можно составить представление, рассматривая небольшую часть созвездия Близнецов (рис. 151): простым глазом мы тамъ увидим только 7 звездъ, самая яркая из них третьей

величины, при помощи же хорошей современной трубы на том же месте можно насчитать 3205 звездъ, до звезд 13-ой величины включительно (рис. 152). Такое количество звезд наблюдается, конечно, не во всех направленияхъ. Вообще, число их больше всего въ Млечном Пути. Гершель оценивалъ число звезд в 18 миллионовъ. Позднее Струве (род. в 1793 г. въ Альтоне, ум. в 1864 г. в Петербурге) оценил число звездъ, видимых на всем небе в 40-футовой телескоп Гершеля, в 20 миллионовъ. В настоящее время считаютъ, что число телескопических звезд превышает 80 миллионовъ. Само собою разумеется, что число звезд зависитъ, как правильно заметил уже Гершель, от силы телескопа, с которым производятся наблюдения.

324. Следующий вопрос состоит теперь в томъ, на каком разстоянии от нас находятся неподвижныя звезды. Тихо Браге пытался определить это разстояние (§ 70), но безуспешно; то же нужно сказать и о Бадлее (§ 284). Последний при этих попытках открыл аберрацию света. После них за решение этого вопроса взялся Гершель, но тоже безуспешно, несмотря на то, что в своих наблюдениях он достиг такой точности, какой до него не достигал никто. Зато его попытки привели к совершенно новому открытию.

Так как тщетно отыскиваемый параллакс (ср. § 70 и рис. 53) во всякомъ случае должен быть очень малъ, то Гершель хотел попытаться найти его, применив методъ, предложенный еще Галилеемъ, а именно: видимое перемещение



Точка между звездами, по направлению къ которой движется солнце.

звезды, обусловливаемое движением земли вокруг солнца, может быть лучше всего замечено, если сравнивать положение этой звезды с положением другой, соседней для глаза, но бесконечно далекой, перемещение которой вследствие движения земли равно нулю или совершенно ничтожно в сравнении с определенным перемещением (параллаксом) первой звезды. Другими словами, Гершель хотел подобрать пары звезд, которые, будучи видимы в его большой телескоп на весьма близком расстоянии друг от друга, имели бы, конечно, одинаковую рефракцию, одинаковую абerrацию и т. д. Для этой цели он стал наблюдать большое количество таких звездных пар, определяя взаимное расстояние и положение звезд каждой пары. Спустя некоторое время он повторил эти измерения; но вместо того, чтобы найти параллакс, т. е. смещение звезд, соответствующее годовому движению земли, он открыл у некоторых из этих двойных звезд совершенно иное изменение положения друг относительно друга: при дальнейшем движении одна из них должна была бы совершить полный оборот около другой. Подобно тому как движутся планеты вокруг солнца или, еще лучше, подобно тому, как земля и луна, составляющая, так сказать, двойную планету, движутся вокруг общего центра тяжести, находящегося в земле (§317), так открытая Гершелем „двойные звезды“ движутся в течение многих лет вокруг общего центра тяжести. При жизни Гершеля ни одна из этих пар не совершила, правда, полного оборота, но с тех пор это наблюдали у многих двойных звезд. Гершель производил наблюдения, например, над двойной звездой γ Большой Медведицы в 1781, 1803 и 1825 гг. Полный же оборот звезда закончила лишь в 1842 году, так что ее период составляет 61 годъ.

Эти движения также подчиняются законам Кеплера и, значить, и тут имеет силу закон всемирного тяготения Ньютона. Звезды движутся по эллипсам около

общего центра тяжести, как фокуса.

Эти эллипсы часто весьма растянуты,

что, однако, может быть иногда лишь следствием перспективы, если этот путь наблюдается сбоку. Рис. 304 может дать представление о движении таких двойных звезд. G — общий центр тяжести, a и A — две звезды, когда оне на наименьшем расстоянии друг от друга. В данном случае масса A в три раза больше массы a , так как расстояние aG взято втрое больше, чем AG . Оба



Движение двойных звезд.

тела затем движутся таким образом, что приходят одновременно в s и S , в s' и S' , в s'' и S'' и в b и B (наибольшее расстояние) и т. д.

Таким образом Гершель открыл, что некоторые из двойных звезд представляют действительные (физические) двойные звезды, что это два связанных между собою солнца. Другия же являются только так называемыми оптическими двойными звездами, т. е. оне случайно расположены приблизительно на одной прямой линии с землею, тогда как вторая звезда, возможно, отстоит значительно

дальше от земли, чем первая. Этимъ-то именно обстоятельством Гершель и имел в виду воспользоваться для определения параллакса более близкой из двухъ звездъ. Это не удалось ему, но зато он нашел 806 действительных двойныхъ звезд и описал ихъ.

Кроме двойныхъ звездъ есть также звездныя системы, которыя состоятъ изъ трехъ, четырехъ и большого числа звездъ, образующихъ одну семью и движущихся около общаго центра тяжести. Гершель былъ того убѣжденія, что неподвижныя звезды суть солнца, и, такимъ образомъ, наше представление о солнечныхъ системахъ расширилось уже этими наблюдениями надъ двойными звездами. До этого времени существовало лишь представление о нашей солнечной системѣ с однимъ центральнымъ теломъ. Но в мировомъ пространствѣ мы встречаемъ и такія системы, которыя заключаютъ в себѣ два, три и болѣе свѣтящихся тѣлъ, движущихся одно около другаго. Если в этихъ системахъ находятся и темныя тѣла, то тамъ можно видѣть не одно солнце на небѣ, какъ у насъ, а иногда несколько, причемъ иногда эти солнца, можетъ быть, имѣютъ разную окраску.

325. Хотя попытка Гершеля определить параллаксы неподвижныхъ звездъ не удалась, темъ не менѣе онъ не терялъ надежды составить представление о размерахъ вселенной, в которую онъ проникъ гораздо далѣе, благодаря своему огромному телескопу, чѣмъ кто-либо до него.

В различныхъ направленіяхъ мы наблюдаемъ различныя количества неподвижныхъ звездъ, но наибольшее количество звездъ мы видимъ в той плоскости, въ которой густыя рои Млечнаго Пути опоясываютъ все небо. По мнѣнію Гершеля, само солнце тоже принадлежитъ къ большому рою звездъ,—другими словами, оно есть одна изъ миллионовъ звездъ, входящихъ в составъ Млечнаго Пути, а звезды, видимыя простымъ глазомъ, только ближайшіе члены этого большаго роя; видимъ же мы ихъ на небесномъ сводѣ далекими другъ от друга только потому, что къ землѣ онѣ ближе всѣхъ.

Чтобы определить размеры и видъ этого скопления звездъ, Гершель предположилъ, что разстоянія между всеми мировыми тѣлами в среднемъ одинаковы, т. е. что эти тѣла распределены во вселенной приблизительно равномерно. Если мы направимъ зрительную трубу в то или другое мѣсто неба, то мы увидимъ все те звезды, которыя находятся в конусѣ, образуемомъ полемъ зренія трубы. Поэтому, если в полѣ зренія находилось в одномъ мѣстѣ 100 звездъ, а в другомъ 800, то Гершель дѣлалъ отсюда выводъ, что въ последнемъ случаѣ граница скопления должна лежать вдвое далѣе, чѣмъ в первомъ, такъ какъ объемъ конуса возрастаетъ въ 8 разъ, когда его длина увеличивается вдвое. Если в третьемъ направленіи видно 2700 звездъ, то граница скопления в этомъ мѣстѣ должна отстоять в три раза далѣе, какъ какъ объемъ конуса теперь в 27 разъ болѣе. Подобнымъ образомъ Гершель определилъ глубину нашего скопления солнцъ (Млечнаго Пути) не менѣе, чѣмъ въ 3400 направленіяхъ. Онъ опубликовалъ результаты своихъ „зондированій“ в 1785 году. Впоследствии, однако, онъ пришелъ къ убѣжденію, что его предположеніе о равномерномъ распределеніи звездъ неправильно.

Тогда Гершель принялъ другую исходную точку, а именно ту, что в общемъ звезды одинаково ярки. В такомъ случаѣ звезды первой величины должны быть къ намъ ближе всѣхъ; звезды второй величины должны отстоять несколько далѣе, звезды

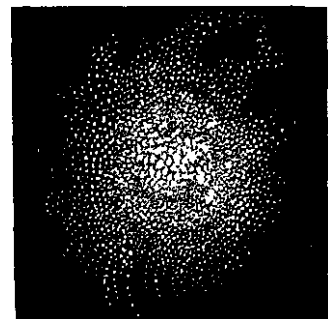
грядшей величины — еще дальше и т. д. Так как в распоряжении Гершеля был целый ряд зрительных труб различной силы, то при помощи слабой из них, которая все же давала возможность видеть больше ЗВБЗД, чем невооруженный глаз, он мог зондировать одной ступенью глубже, чем простым глазом. Следующая труба, дававшая возможность видеть больше звезд, чем первая, позволяла зондировать еще на одну ступень глубже и т. д. до 40-футового телескопа. Если в каком-либо направлении труба № 2 позволяла увидеть больше звезд, чем труба № 1, а труба № 3 новых звезд больше не давала, то это указывало, что в этом месте была достигнута граница скопления звезд.

Гершель, однако, видел, что и это допущение — одинаковости яркости звезд — ненадежно и что, следовательно, нельзя слишком полагаться на зондирования, основанные на этом допущении. Тем не менее в этих двух попытках мы видим всю неутомимую энергию великого исследователя, стремившегося измерить глубину, которую он сам в конце концов признал бездонной. Если даже эти методы и не вполне точны, то тем не менее они — особенно, если пользоваться ими обоими — все же пригодны в такой же мере, в какой вообще пригодны расчеты, основанные на теории вероятностей; еще и в настоящее время мы пользуемся подобными⁴ способами, чтобы получить представление о форме Млечного Пути. Эти миллионы звезд, повидимому, образуют сжатую чечевицу, которая, вероятно, распадается на несколько частей, имеющих форму колец. Мы сами находимся на внутренней поверхности одного из этих колец и вследствие этого мы видим звезды Млечного Пути сливающимися в пояс, который на противоположной стороне раздваивается, так что в этом месте мы можем смотреть сквозь одну часть кольцеобразного отверствия.

326. Наконец, Гершель оказал большие услуги исследованием звездных скоплений и туманностей. Уже до него наблюдали приблизительно 120 туманностей. Гершель довел это число до 2500; благодаря своему превосходному телескопу он нашел, что многие из них разрешаются в неисчислимое количество звезд. Он полагал, что это справедливо относительно всех туманностей, если только разсматривать их достаточно сильной трубой. Впоследствии, однако, он пришел к другому взгляду, подтвержденному и новейшими исследованиями, а именно, что наряду с множеством туманностей, которые, если разсматривать их в телескоп, разлагаются на тысячи звезд (рис. 305 и 306), существуют также и такие туманности, которые состоят не из отдельных звезд и которые часто имеют весьма неправильную форму; к числу их относятся также так называемые планетарные туманности. Относительно первых Гершель полагал, что они находятся далеко за пределами Млечного Пути и что это в сущности другие Млечные Пути. Таким образом, можно говорить о Млечном Пути млечных путей.

327. Гершель, далее, сделал много наблюдений окраски неподвижных

рис 1

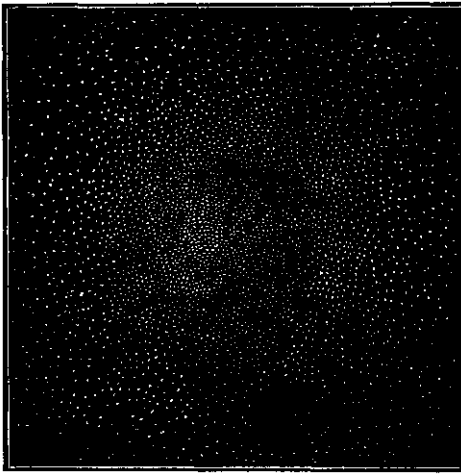


Звездное скопление в Геркулесе.

звезд, изменений их яркости и т. п. Он собрал такой основательный материал о неподвижных звездах и этим открыл столь интересные области в этом до тех пор почти мертвом мире, что нельзя не отметить еще одной важной стороны его деятельности: он привлек к разрешению поставленных им проблем много молодых сил. Гершель умер в 1822 году, в таком же возрасте, как и Ньютон. Сестра его, Каролина, которая была значительно моложе его (род. в 1750 г.), умерла в 1848 году.

Единственный сын В. Гершеля, Джон Гершель (1792—1871), достойным образом продолжал дело своего отца. Он был одним из выдающихся астро-

Рис. 306 ^{номов} ^{ХІХ} ^{столетия,} ^{особенно} ^в ^{обла-}
^{сти} ^{двойных} ^{звезд} ^и ^{туманностей.} Въ



Звездное скопление в Центавре. ^{вить} ^{себе} ^{дугу} ^в ^{одну} ^{секунду,} ^{доста-}
^{точно} ^{вспомнить,} ^{что} ^{диаметр} ^{луны} ^{со-}
^{ставляет} ³⁰ ^{минут} ^{или} ¹⁸⁰⁰ ^{секунд.}

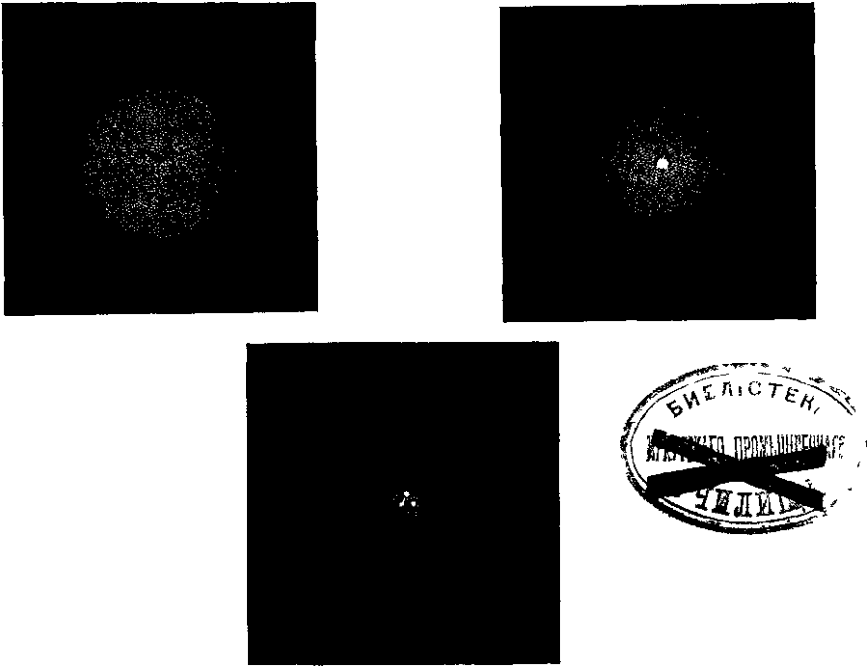
Если мы представим себе, что диаметр луны разделен на 1800 равных частей, то каждая из них представить, следовательно, дугу в одну секунду. Тонкость таких измерений можно наглядно объяснить еще следующим образом. Вообразим себе на расстоянии 2 км здание в 35 м длиною. Оно будет видно под углом в 1 градус. Следовательно, углу в 1 секунду соответствует 3600-ая часть 35 м, т. е. приблизительно 1 см. Таким образом, если мы на расстоянии 2 км пожелаем бы определить угол между двумя точками, лежащими на расстоянии 1 см друг от друга, то нам пришлось бы измерить угол в 1 секунду. Гершель дошел приблизительно до этой точности; однако, требовалось пойти еще дальше, чтобы получить разыскиваемые тысячи лет параллаксы неподвижных звезд.

Здесь нужно заметить, что оптика и искусство шлифовки стекол, а тем самым и конструкция зрительных труб в первой половине XIX столетия сделали столь значительные успехи, что с 20-х годов его астрономы получили возможность пользоваться такими точными инструментами, каких до тех пор никогда не было. Превосходные инструменты выходили из мастерских Фраунгофера в Мюнхене. Фраунгофер же между прочим построил „гелиометр“ для Бесселя в Кёнигс-

берге. Это название означает „солнцемеръ“, но этот прибор может также служить для определения расстояний и между другими близкими точками, например, между двойными звездами. Объектив гелиометра посредине разрезан и каждая из его половинок, имеющих форму полукруговъ, вделана в отдельную металлическую оправу такъ, что при помощи микрометрического винта можно передвигать эти два полукруга, которые будутъ при этомъ скользить другъ около друга вдоль диаметра разреза. При сдвиге каждая половина объектива даетъ отдельное изображение звезды и, чемъ больше раздвинуть половины объектива, темъ больше будетъ и расстояние

1

Рис 307



Планетарныя туманности в созвездіи Рыб (1), в Большой Медведице (2)
и в Андромеде (3).

между двумя изображениями. При наблюдении, например, двойной звезды получается четыре изображения. Можно поставить половины объектива такъ, что изображение северной звезды одной пары совпадетъ с изображениемъ южной звезды другой; тогда будутъ видны только три изображения. Величина сдвига, которая можетъ быть отсчитана на винте, будетъ зависеть отъ расстоянія между звездами. Такимъ способомъ Фраунгофер со своимъ гелиометромъ далъ возможность производить чрезвычайно тонкія измерения.

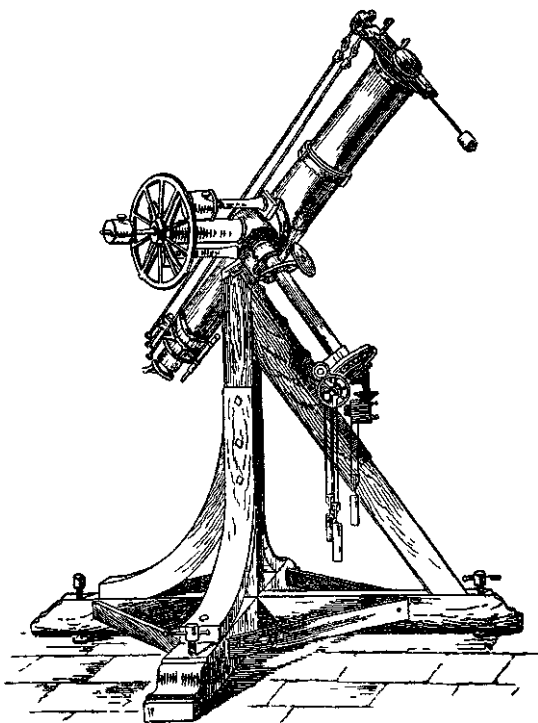
329. Фридрихъ Вильгельмъ Бессель (рис. 309) родился в 1784 году въ Миндене. Пятнадцати лѣтъ отъ роду онъ вступилъ в торговый домъ в Бремене,

Но уже здесь он употреблял свободное время на изучение математики и астрономии. В 1806 году он сделался ассистентом обсерватории в Лилиентале, а в 1810 году ему было поручено наблюдение над постройкой обсерватории в Кёнигсберге; ставши позже во главе этой обсерватории, он руководил ею до своей смерти в 1846 году, вызывая удивление, как превосходный теоретик, вдумчивый исследователь, серьезный и неутомимый наблюдатель. Помимо огромного числа других превосходных наблюдений, Бессель определил и параллакс неподвижных звезд, обезсмертив этим свое имя. Правда, приборы, необходимые для такого рода наблюдений были к этому времени доведены до

такого совершенства, что некоторые другие наблюдатели достигли той же цели почти одновременно и свои наблюдения опубликовали лишь немногим позже Бесселя.

330. Бессель получил параллакс неподвижной звезды тем же способом, которым пытался получить его уже В. Гершель, а именно, измеряя расстояния в оптической двойной звезде. Главное затруднение состояло в том, чтобы найти такую пару звезд, относительно которой можно было бы рассчитывать, что одна из них значительно дальше другой. При этом делалось вероятное допущение, что из двух звезд более яркая есть вместе с тем и ближайшая к нам. Кроме Гершеля и других наблюдателей были выбраны, исходя из этого, но Гелюмстрём цели они, однако, не достигли.

Бессель в своем выборе руководился другой точкой зрения. Как известно, В. Гершель показал, что все звезды имеют собственное движение. Бессель и допустил, что из двух звезд ближе та, которая движется скорее. По этой причине он выбрал для своих наблюдений двойную звезду 61 в созвездии Лебедя. Одна из звезд этой пары имеет собственное движение в 5 секунд в год; ее даже называли „летающей звездой". Несведущему человеку эта скорость может, конечно, показаться не столь уж значительной, так как нужно 350 лет, чтобы звезда переместилась на расстояние, равное видимому диаметру луны. В течение 1838 года Бессель произвел ряд измерений и в конце года он мог сообщить, что параллакс этой звезды равен приблизительно u_a секунды. Если принять во внимание, что радиус земной орбиты равен 20 миллионам миль и что это расстояние видимо из звезды 61 Лебедя под углом в $1/3$ секунды, то расстояние этой



звезды легко вычислить. Но было бы нецелесообразно давать это громадное разстояние в миляхъ, — это было бы еще менее разумно, чем выражать окружность земли в миллиметрахъ. Даже разстояние земли от солнца (20000000 миль) было бы неподходящей единицей меры, так ^как разстояние указанной звезды заключает в себе около полумиллиона таких единицъ. Вот почему обыкновенно такія огромныя разстояния выражаютъ, указывая, сколько нужно свету времени на ихъ

Рис. 309



Ф. В. Бессель

пробегъ. Светъ, пробегающий 40000 миль въ секунду (§§ 282 — 288), доходит до нас от луны в $1\frac{1}{4}$ секунды, от солнца приблизительно в 8 минутъ, от звезды 61 Лебедя—в $8\frac{1}{2}$ летъ.

В то самое время, когда Бессель наблюдал эту звезду в созвездии Лебедя, Гендерсон с тою же целью производил наблюдения на Мысе Доброй Надежды над великолепной звездою а в созвездий Центавра. Обнаружилось, что эта звезда — ближайшая из всехъ, разстояния которых удалось определить. Въ таблице указаны важнейшия из неподвижныхъ звездъ, разстояния которых известны.

Из этой таблицы легко видеть, что некоторыя из звездъ, разстояния которых определены, принадлежат к самым ярким звездам небесного свода. Это согласуется с предположением Гершеля о томъ, что самыя яркия звезды должны быть и ближайшими, т. е. что в среднем звезды обладают одинаковой яркостью. Это

	Величина	Параллаксъ	Разстояніе		Собственное дви- женіе	
			въ радіусахъ земной орбиты	въ свѣто- выхъ го- дахъ	Дуго- выхъ се- кундъ въ годъ	Миль въ секунду
α Центавра	1	0.913"	225970	3.5	3.58	2.5
61 Лебеда	5	0.374	550900	8.7	5.12	8.7
Сириусъ	1	0.150	1375100	21.3	1.23	5.1
ε Б. Медвѣдицы	3	0.133	1550000	24.4	0.75	3.5
Арктуръ	1	0.127	1628000	25.5	2.25	11.0
Капелла	1	0.046	4484000	70.5	0.46	6.3

допущение, разумеется, верно не во всех случаяхъ, но все же в общем оно справедливо. Если мы вычислим разстояния слабыхъ звездъ в предположении, что их яркость обусловлена только разстояніемъ, то в среднем разстояния звездъ будутъ таковы:

звѣзды 1 величины	15 свѣтовыхъ годовъ
" 2 "	28 " "
" 3 "	43 " "
" 4 "	61 " "
" 5 "	85 " "
" 6 "	120 " "
" 10 "	700 " "

Согласно такому расчету, отдаленнейшія звезды Млечного Пути такъ далеки отъ насъ, что светъ ихъ, видимый нами в настоящее время, долженъ былъ выйти изъ нихъ 4000 летъ тому назадъ. Но такая оценка, конечно, не очень надежна, — и еслибъ мы применили ее къ еще более отдаленнымъ туманностямъ, то она была бы еще менее надежна.

331. В. Гершель измерилъ видимое движеніе большого числа звездъ, и эти работы, конечно, продолжаются и до настоящаго времени съ более совершенными приборами. Когда удастся определить параллаксъ звезды, а следовательно, и ея разстояніе отъ насъ, то легко вычислить и скорость ея движенія. Такъ, напримеръ, звезда 61 Лебеда съ параллаксомъ в 0.374" и съ годовымъ движеніемъ в 5.12" пробѣгаетъ в годъ около 274000000 миль или 8.7 мили в секунду. При этомъ, конечно, предполагается, что звезда движется перпендикулярно къ лучу зрѣнія. Если же она сверхъ того приближается къ намъ или удаляется отъ насъ, то ея скорость, разумеется, еще больше.

В послѣднихъ двухъ столбцахъ приведенной выше таблицы показаны такія скорости некоторыхъ другихъ звездъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что солнца — в томъ числѣ и наше солнце (§ 322) — обладаютъ скоростью в несколько миль в секунду, подобно землѣ (4 мили), другимъ планетамъ и кометамъ. Но вследствие огромной отдаленности эта скорость кажется незначительной, какъ кажется незначительной скорость курьерскаго поезда, если наблюдать его съ разстоянія несколькихъ миль. Отдаленность же неподвижныхъ звездъ такъ велика, что лишь по прошествіи тысячелѣтій можно будетъ замѣтить измѣненія в ихъ взаимномъ положеніи.

332. Сириус светить, как показали измерения, в 5400000000 раз слабее солнца. А так как Сириус дальше солнца в 1375000 разъ, ТО его действительная

яркость должна быть (ср. § 83) в -- $\frac{1}{5400000000 \times 1375000}$ = 350 раз больше яркости солнца.

О 4000 000000

Если интенсивность света Сириуса такова же, как и солнца, ТО нам пришлось бы допустить, что его поверхность в 350 раз больше, диаметр почти в 19 раз больше, а объем в 6000 раз больше, чем у солнца. И тем не менее на этомъ громадном разстоянии Сириус кажется нам точкой, как и всякая другая неподвижная звезда. Еслиб яркость Сириуса была не больше яркости солнца, ТО онъ казался бы с земли звездой шестой величины, видеть которую мог бы только зоркий глаз при благоприятных условиях.

Можно с известной вероятностью допустить, что и другия солнца, не уступающия нашему по величине, также окружены планетами. Если эти спутники таковы же, как земля и другия планеты, ТО едвали можно надеяться на ТО, что мы их когда-либо увидимъ. Ибо, если само солнце представляется в виде звезды шестой величины, ТО можно ли рассчитывать увидеть, хотя бы и в лучший телескопъ, светъ, посылаемый даже такой большою планетою, как Юпитерь? Но нет ничего недопустимого в томъ, что ВО вселенной не все так происходитъ, как в нашей солнечной системе; и как раз Сириус обнаружил чрезвычайно любопытныя особенности.

Определив собственное движение Сириуса и найдя, что Сириус описываетъ криволинейный путь, Бессель сделал отсюда выводъ, что Сириус должен двигаться около другого несветящагося тела. То же пришлось допустить и относительно Прокциона. Другие астрономы продолжали эти наблюдения и пути этих звездъ были определены с возможной точностью. Попытки увидеть в телескоп спутника Сириуса были вначале безуспешны. Лишь в 1860 году Кларкъ, рассматривая это место неба в необыкновенно сильный телескоп с объективом в 18¹/₂ дюймов в диаметре, нашел этого спутника, ничего не зная о предположениях Бесселя. Был также найден и спутник Прокциона, именно — в 1873 г. О. Струве. Сириус и его спутник совершаютъ путь один около другого в 50 летъ, Прокцион и его спутник — в 40 летъ.

333. Со времен Гершеля мы все более и более знакомимся с безпредельностью звездного неба и с разнообразием явлений на немъ. Дальнейшия исследования этих отдаленных солнечных системъ, состоящих иногда не из одного солнца, а из двухъ, трех и более, — а именно, исследования при помощи спектроскопа (ср. отдел О природе света) показали, что и в тех мирахъ, которые отстоят от нас на биллионы миль, господствуют те же законы природы, что и у насъ, — законы Кеплера и законы, относящиеся до природы света. Но в подробностях эти законы зато проявляются иногда гораздо сложнее, чем в нашей солнечной системе. Если, напримеръ, какая-либо система состоит из трех солнц различной величины, различной температуры и с различными атмосферами, различно влияющими на светъ, исходящий от этих солнцъ, ТО на планете, принадлежащей к этой системе, условия должны резко отличаться от земныхъ. Стоит только подумать о восходе и заходе различных солнцъ, о разнообразном освещении и о явлении сумерекъ, разделении времени, вызываемом движением различных солнц и т. п.

З в у к ъ



З в у к ъ

334-. Природа подарила человечество, еще въ его колыбели, звукомъ, которымъ оно стало пользоваться непосредственно и без всякихъ усилий. Человек обладает не только органом для воспритш звука, ухомъ, но и органом для воспроизведе-ния звука, голосомъ. Не думая о строенш и физическом дейвш этих органовъ, человек стал ими польз^ваться в силу своих духовных способностей и, наобо-ротъ, пользование этими органами содействовало развитию его духовной стороны.

Но и здесь уже очень рано обнаружилась присущая человеку изобрѣгатель-ность. Музыку не без основанш называют старейшим из всех искусствъ. Въ

Рис 310



Игра на арфе и на флейте у древних египтянъ

первой книге Моисея 4, 21 сказано о Иомъ, что Ювал был „отец всех игра-ющих на гусях и свирели", и во все то время, о котором только говорить история и легенды, у всех народов уже были музыкальные инструменты. Три глав-ных вида инструментовъ, которые употребляются в настоящее время, были и тогда в ходу, а именно: во-первыхъ, такие инструменты,—как барабанъ, литавры, треу-гольник и колоколь,—которые издають только один тонъ; во-вторыхъ, струнные инструменты, издающие различные тоны, как цигра, арфа, скрипка, фортепиано и, въ-третьихъ, духовые инструменты. Все эти три вида инструментов можно найти всюду на земле на изображенияхъ, оставленных древнейшими народами, а также и у народов на самом низком культурном уровне.

Существует много легендъ о божественном происхожденш музыки, что легко объясняется тем чарующим действием, которое музыка оказывает на душу чело-века. Мы читаем о том влиянии, какое оказывала на Саула игра Давида на арфе, и слышим о полудиком обитателе Африки, что он с умилением склоняется над своим инструментомъ, извлекая из него слабые звуки.

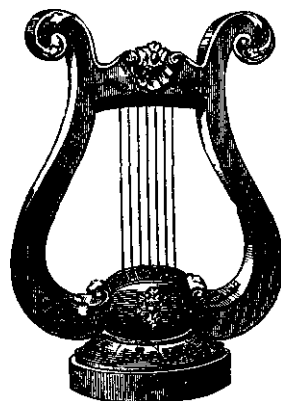
335. Человек очень рано узнал из опыта, как изготовлять инструменты, какой длины должны быть струны и т. п. Эти правила почитались, как и многое другое в древности, как божественное откровение. Числовые соотношения, связанные с высотой тонов, были впервые исследованы Пифагором (§ 24).

Рис. 311



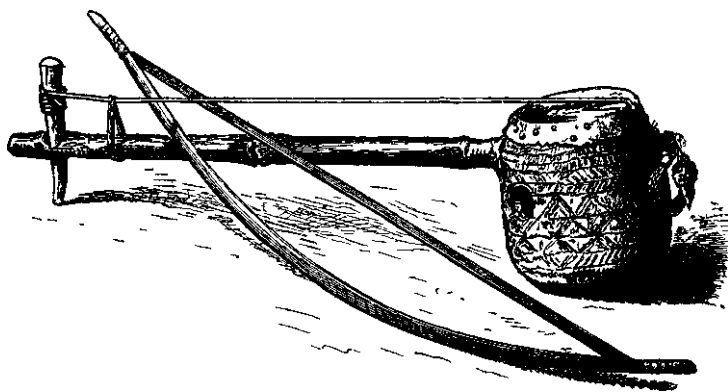
Еврейская лютня

Рис. 312



Греческая лира

Рис. 313



Африканская скрипка.

Как рассказывают, случайно обратив внимание на то, что звон молотков в кузнице давал музыкальную кварту, квинту и октаву, Пифагор нашёл, что весь меньших молотков составлял $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$ и $\frac{1}{2}$ веса большего. Это побудило его натягивать струну различными грузами, а также струны разной длины — одним и тем же грузом, исследуя при этом изменения тона. Так как этот рассказ написан спустя несколько столетий, то он мало достоверен, — но он представляет интерес в том отношении, что здесь идет речь об опытах, что у древних греков было вообще совершенно неизвестно (ср. § 140). Пифагор нашёл, что если

струна дает определенный тонъ, то струна того же сорта и при том же натяжении даст высшую кварту, квинту и октаву, если ея длина составляет $\frac{3}{4}$, $\frac{2}{3}$ и $\frac{1}{2}$ длины первой. Вообще, для того чтобы две струны одинакового веса и при одинаковом натяжении давали созвучие—издавали приятный для уха аккордъ,—их длины должны находиться между собою в простом от- Рис 314

ношении. Это находится в полном соответствии с наблюдениемъ, сделаннымъ Пиагоромъ, что красота и в других областяхъ, напримеръ, въ строительном искусстве, обуславливается простыми числовыми отношениями.—Пиагоръ, как полагаютъ, добавил к семи струнам лиры восьмую (октаву).

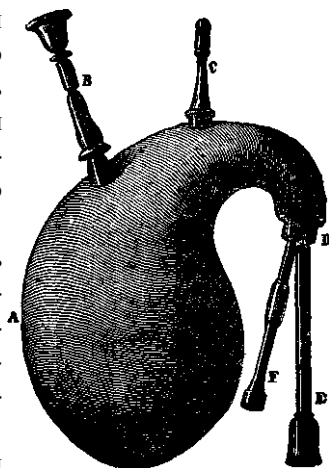
Об указанных соотношениях упоминаетъ и Аристотель, прибавляя, что они также справедливы для тонов труб и их длинъ. Ему также было известно, что звуки вызываются колебаниями, исходящими из звучащего тела и распространяющимися по воздуху до уха.

336. Более подробно эти соотношения были исследованы французским иезуитом Мерсенномъ (род. 1588, ум. 1648; §§ 171 и 240) в сочинении, вышедшем в 1636 году. Он нашелъ, что высота тона зависит исключительно от числа колебаний, и установил закон для колебаний струнъ, заключающийся въ томъ, что число колебаний обратно пропорционально длине струны и квадратному корню из ея удельного веса и, наоборотъ, прямо пропорционально квадратному корню изъ натягивающего груза. Можно, напримеръ, увеличить число колебаний струны вдвое одним из следующих трех способовъ: либо уменьшением вдвое ея длины, либо уменьшением вчетверо ея веса, либо увеличением в четыре раза натягивающего груза, оставляя при этом прочия условия без изменения.

Мерсенн нашел далее, что тот же закон справедлив и для трубъ, т. е. что числа колебаний тоновъ, ими производимыхъ, обратно пропорциональны длинамъ трубъ. Труба двойной длины производит тон с половинным числом колебаний. Тон открытой трубы имеет вдвое больше колебаний, чем тон закрытой трубы такой же длины.

Гораздо обстоятельнее законы колебания струн были исследованы столетиемъ позже, когда целый ряд великих математиков XVIII столетия (Тэйлоръ, Иванъ и Даниил Бернулли, Даламберъ, Эйлер и Лагранжъ) обработали этотъ вопрос чисто теоретически. Прежде всего Тэйлор дал точную абсолютную формулу, помощью которой можно вычислить число колебаний струны, если известны ея длина, вес и натяжение¹⁾.

Брук Тэйлор род. в 1685 г. вблизи Лондона, получил образование въ Кэмбридже, 27 лет стал членом Королевского Общества, а два года спустя его



¹⁾ Пусть длина струны будет l , вес единицы ея длины p , натягивающий груз P и ускорение силы тяжести g (§ 149); тогда число колебаний струны будетъ

секретаремъ. Помимо работы, в которой выведена упомянутая формула, он опубликовал большое число других работ как по чистой математике (строка Тэйлора), так и из области математической физики. Он умер уже в 1731 году.

337. Одновременно с этим или даже несколько раньше одному французу удалось точно определить число колебаний опытным путемъ.

Жозеф Совёр родился в Лафлеши в 1653 г. Он плохо слышал и даже в 7-милетнем возрасте еще не умел говорить. Тем не менее он был одним из величайших экспериментаторов своего времени в области акустики.

Рис. 315



Мерсеннъ.

Сначала Совёр посещал иезуитскую школу, которую в свое время посещали также Мерсенн и Декартъ. Он изучал сперва богословие, а затем математику и физику. Средства к существованию он добывал уроками. Совёр работал также и в области инженерных наукъ; своим трудам в этой области он обязан избранием в члены Академии в 1696 г. На это избрание онъ, так сказать, ответил темъ, что с этого времени посвятил себя одной только ветви науки—той именно, которая, казалось бы, была для него менее всего доступна—учению о звуке, которое онъ, несмотря на недостаток слуха, подвинул впередъ, как никто другой. Умер онъ в 1716 г.

338. Органные мастера нередко наблюдали, что при одновременном звучании двухъ низких тоновъ, близких один к другому, возникают своеобразные толчки или биения. Одно мгновение тон силенъ, а в следующее — слабъ, затем опять силенъ и опять слаб и т. д., повторяясь в определенномъ такте. Но объяснить это явление не умели.

Услышав об этомъ, Совёр тотчас же понялъ, въ чем дело. Если, напримеръ, один тон ь совершает 34 колебания в секунду, а другой 35 колебаний, то в начале и в конце секунды оба тона находясь в одной и той же фазе колебания, вследствие чего они усиливают друг друга; в середине же секунды они находятся в противоположных фазах и поэтому ослабляют друг друга. В таком случае тон испытывает одно усиление и одно ослабление в течение каждой секунды. Если один тон совершает 34 колебания, а другой 36 колебаний в секунду, то эти тоны взаимно усиливают друг друга в начале, в середине и въ

$$n = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{P \cdot g}{p}}.$$

Если, напримеръ, стальная струна длиною в 1000 мм с поперечным сечением в 1 *кмм* натянута грузом в 7-5 кг или 7500 г, то вес одного миллиметра струны равен 0 0075 г (удельн. вес стали 7-5), а число ея колебаний будетъ

$$n = \frac{1}{1000} \sqrt{\frac{7500 \times 10000}{0 0075}} = 100.$$

конце секунды и ослабляют друг друга в промежуткахъ. Тогда получается два биения в секунду. Если разность чисел колебаний равна тремъ, то получится три биения в секунду и т. д. Конечно, нет необходимости быть музыкальнымъ, чтобы слышать эти биения, и Совёр понять, что это явление может служить удобнымъ и интереснымъ средством для определения того, совпадают ли вполне два данные тона или нѣтъ.

Совёр воспользовался этимъ явлениемъ не только для определения разности чисел колебаний двухъ источников звука, но и для получения абсолютного числа ихъ колебаний. Напримеръ, онъ нашель, что его две органныя трубы длиною около 5 футовъ давали одно биение в секунду. Точное измерение обнаружило, что длины этихъ трубъ относились, какъ 100 к 101. Если число колебаний более длинной трубы обозначить черезъ x , то число колебаний более короткой трубы будетъ $x - 1$, такъ какъ эти две трубы давали одно биение в секунду. Но такъ какъ числа колебаний обратно пропорциональны длинамъ трубъ, то имеетъ место пропорция

$$\frac{x+1}{x} = \frac{101}{100}.$$

Отсюда $X = 100$. Совёр предложилъ принять этотъ тонъ в 100 колебаний в секунду за нормальный гонъ. Однако, это предложение не было осуществлено. Для музыки неважно, имеетъ ли нормальный тонъ такое круглое число колебаний или нѣтъ. Даже в настоящее время не всюду принятъ одинъ и тотъ же „камертонъ“. В однихъ странахъ для настраивания музыкальных инструментовъ за нормальный принимаютъ тонъ в 435 колебаний, в другихъ — в 440 колебаний.

Французскій математикъ Лагранжъ при помощи биений объяснилъ в 1759 г. такъ называемыя тоны Тартини. Итальянскій музыкантъ Тартини за несколько летъ до смерти Совёра обратилъ вниманіе на то, что при одновременномъ звучаніи двухъ довольно различныхъ тоновъ слышится также еще и третій, более низкій тонъ. А именно, чемъ больше разность чисел колебаний двухъ тоновъ, дающихъ биения, темъ быстрее послѣднія следуютъ другъ за другомъ. Если эта разность равна 10, то въ каждую секунду слышны 10 биений, которыя производятъ впечатленіе рокочущаго шума. Если разность еще больше, то это рокотаніе переходитъ въ музыкальный тонъ. Если, напримеръ, одинъ изъ тоновъ совершаетъ 400 колебаний в секунду, а другой 600, то получается 200 биений в секунду, которыя чуткимъ ухомъ воспринимаются, какъ тонъ въ 200 колебаний.

К Совёру мы еще вернемся ниже. Теперь мы должны разсмотрѣть некоторыя другія свойства звука.

339. Нередко приходится наблюдать, что ударъ, производимый на некоторомъ разстояніи отъ насъ молотомъ, трамбовкой и т. д., воспринимается ухомъ несколько позже, чемъ глазомъ, такъ что звукъ, очевидно, употребляетъ известное время для того, чтобы пройти данное разстояніе. Это явленіе, конечно, было известно древнимъ и о немъ упоминаетъ также и Аристотель. По его мнѣнію, низкіе тоны распространяются медленнее высокіхъ.

Ложность этого утвержденія была обнаружена Пьеромъ Гассенди (1592 — 1655). В оидаленномъ месте производились выстрѣлы изъ пушки и изъ ружья и Гассенди измерялъ промежутокъ времени между появленіемъ света и звука. Онъ нашель, что низкій звукъ пушечнаго выстрѣла и высокій звукъ ружейнаго дости-

гают уха в совершенно одинаковые промежутки времени. Таким образом, Гассенди является первым, о котором известно, что он действительно произвел измерение скорости звука, хотя оно было и не вполне точно. В течение следующего века скорость распространения звука определялась и другими наблюдателями, но результаты различных опытов значительно разнились друг от друга. Гассенди нашел 1473 парижских футов, Мерсенн 1380, Accademia del Cimento 1077, Бойль 1126, Дом. Кассини, Гюйгенс, Пикар и Рёмер 1097, Флэмстид и Галлей 1071. Различия в числах отчасти обуславливаются, несомненно, недостаточной точностью измерений, а отчасти, вероятно, и состоянием воздуха, что большинством наблюдателей не принималось во внимание в должной мере.

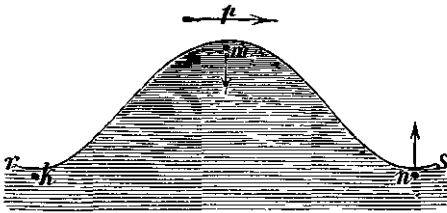
Важные наблюдения над распространением звука были произведены Вильямом Дергэмом (1657—1735). Он был богословом, но очень интересовался также явлениями природы и был членом Королевского Общества. Он нашел, что звук быстрее распространяется по ветру, чем против ветра, что Accademia del Cimento отрицала. Дергэм доказал, что звуки различной высоты распространяются с одинаковой скоростью. Музыкальная пьеса доносится издали вполне верно, без запаздывания низких тонов. Дергэм нашел, что звук пистолетного выстрела распространяется одинаково быстро вперед, назад, вверх, вниз и по горизонтальному направлению. Но относительно силы звука он нашел, что она, напротив, не всегда одна и та же: в теплый летний день она меньше, чем в холодный зимний. Как это ни странно, но Дергэм не обратил внимания на то, что эти обстоятельства оказывают влияние и на скорость распространения звука. Первый, сделавший наблюдение в этом направлении, был знаменитый итальянский врач, граф Бианкони (1717 — 1781). Пользуясь очень большими расстояниями, Бианкони нашел, что скорости распространения звука выстрела летом при 35° Ц. и зимою при -75° относятся между собою, как 76 к 79. Кондамин (§ 278) нашел, что скорость звука на возвышенности Квито меньше, чем в более теплой Кайенне. Наблюдения Бенценберга (§ 296) в 1811 году окончательно установили, что в теплом воздухе скорость звука больше, чем в холодном.

340. На эти исследования, которыми кроме упомянутых ученых занималось также много других, обратил внимание и Ньютон в своих „Регистрии“ (§ 297). Для этого он рассматривает в своем сочинении распространение волны в воде и в воздухе.

Пусть rps (рис. 316) представляет поверхность воды, которая в определенный момент в точке p выше, чем в точке s ; в таком случае частица воды t будет опускаться вниз, между тем как частица n будет подниматься. Ньютон рассматривает затем движение воды в изогнутой трубке (рис. 317), имеющей длину l , в одном колене которой вода в определенный момент на величину a выше спокойного уровня, а в другом на столько же ниже его. В этом случае вода должна придти в движение и, достигнув с определенной скоростью положения равновесия, в силу инерции она перейдет через него и уйдет от него в другую сторону на такую же величину, на какую сначала не доходила до него (если не принимать во внимание трения). На мгновение действующей силой будет сила тяжести столба воды высотой в $2a$. Но эта сила приводит в движение всю массу воды l . Вследствие этого масса движется не с ускорением g , а с ускоре-

ніемъ только $\frac{2a}{l} \cdot g$ или $\frac{2ag}{l}$. Если вообразить себѣ простой маятникъ, подвѣшенный на ниткѣ длиною въ $\frac{1}{2} l$, т. е. тѣло P , подвѣшенное на нити указанной длины и въ данный моментъ находящееся на разстояніи a отъ положенія равновѣсія, то это тѣло будетъ двигаться не съ полнымъ ускореніемъ силы тяжести, а лишь съ частью его,

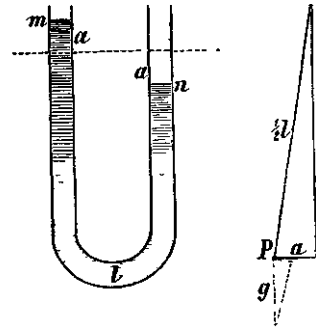
Рис. 316



Распространеніе волны.

равной $\frac{a}{\frac{1}{2} l}$ (треугольникъ, указанный пунктиромъ, подобенъ большому треугольнику). Такимъ образомъ, ускореніе равно $\frac{a}{\frac{1}{2} l} \cdot g = \frac{2ag}{l}$. На

Рис. 317



Движеніе воды въ изогнутой трубкѣ.

тело P , следовательно, действует та же ускорительная сила, что и на массу воды в трубке. Поэтому вода должна достигнуть положенія равновесія в то же самое время, как и маятникъ. По прошествіи вдвое большаго времени вода в левомъ колѣне будетъ занимать самое низкое положеніе, в правомъ наивысшее, а маятникъ за то же время совершитъ полное качаніе слева направо.

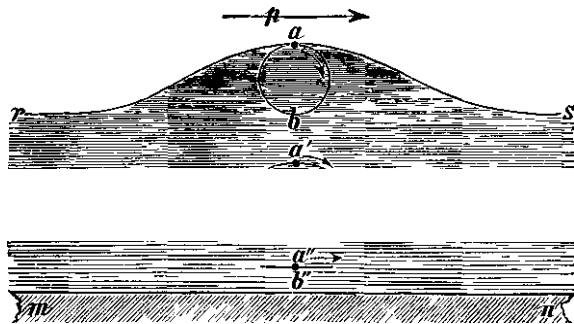
Пусть рис. 316 изображаетъ поверхность воды, по которой движеніе распространяется слева направо; в такомъ случаѣ частица m опускается, а частица n поднимается, как в трубкѣ, и явленіе должно совершаться в существенномъ по тому же закону—с темъ только различіемъ, что столбъ воды между m и n , приводимый в движеніе, не имеетъ заранее определенной формы, как в трубкѣ. Теперь уже высотой столба воды будетъ высота точки m надъ n . Горизонтальное разстояніе этихъ точекъ представляетъ собою половину длины волны, такъ какъ подъ длиной волны разумѣютъ разстояніе между гребнями или между долинами двухъ соседнихъ волнъ. Когда частица m опустится внизъ, то частица k новой волной подымется вверхъ, и теперь уже k будетъ тянуть m вверхъ. Когда m подымется вверхъ, то поверхность воды снова будетъ в томъ положеніи, с какого мы начали наше разсужденіе. За это время волна успѣла подвинуться до n , а затемъ еще на такое же разстояніе, т. е. на целую длину волны. В теченіе того же самаго времени маятникъ длиною в $\frac{1}{2} l$ успѣваетъ совершить одно колебаніе вправо и одно влево. Маятникъ вчетверо длиннѣе, т. е. длиною в $2 l$, успѣлъ бы в то же самое время совершить одно колебаніе слева направо. Отсюда мы заключаемъ, что волны на поверхности жидкости распространяются на целую длину волны ($2l$) за то же время, в теченіе котораго маятникъ такой же длины ($2l$) совершаетъ одно колебаніе.

Примеръ. Если волны некоторой определенной системы в 9 раз длиннее волн друиой системы, то первая распространяются на длину волны во время, втрое большее, чем последняя, так как маятникъ, который в 9 раз длиннее, употребляет втрое большие времени на одно колебание. А если первая волны совершаютъ въ утроенное время путь, в девять раз больший, то оне должны двигаться втрое быстрее послѣднихъ.

Впоследствии оказалось, однако, что формула Ньютона нуждается в исправлении, а именно, должна быть принята во внимание и глубина жидкости. Но в общемъ вопросъ былъ решенъ правильно. Ньютонъ и в данномъ случае открылъ математикамъ слѣдующаго столѣтня область для дальнейшей разработки.

34-1. Если вникнуть в то обстоятельство, что движение волн обуславливается движениемъ водяного столба рис. 316, то мы поймемъ, что в данномъ месте оне частицы воды движутся вверхъ, в другомъ месте оне движутся вбокъ, в третьемъ — внизъ. Физикъ Вильгельмъ Веберъ (II, § 242) изучалъ движение волнъ совместно со своимъ братомъ, физиологомъ Эрнстомъ Веберомъ (1795 — 1878). Они пользовались для своихъ изслѣдованій жолобомъ со стеклянными стенками, так что можно было сбоку наблюдать движение воды. Веберы пускали в воду маленькия крупинки одинаковаго с водою веса, напримеръ, частицы торфа и наблюдали въ микроскопъ движение этихъ частицъ. Волны производили стеклянной трубкой, помощьюъ которой наблюдатели могли в одномъ концѣ жолоба вытягивать некоторое количество воды вверхъ, а затемъ заставлятъ ее падать обратно внизъ. Оказалось,

Рис. 318



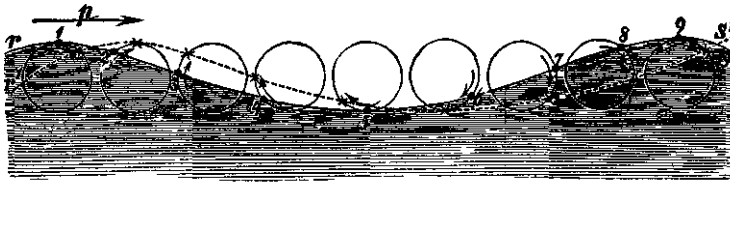
Движение частицъ воды в жолобе Веберовъ.

что частички торфа, а следовательно, и частицы воды описываютъ круговые пути во время прохожденія гребня и долины волны; причемъ движение частицъ направлено впередъ, когда оне находяся в самой высокой точкѣ своего пути, т. е. когда оне находягся на вершинѣ гребня волны (а, рис. 318); движение это направлено назадъ, когда частицы находягся в самомъ низкомъ месте своего пути, т. е. на дне долины волны. Далѣе оказалось, что пути частицъ эллиптическые. На самомъ верху пути были довольно близки к круговымъ, несколько ниже оны были болѣе сплюснутые, а на дне оны представляли прямыя лини, по которымъ частицы воды двигались впередъ и назадъ. Изъ движения отдельныхъ частицъ воды легко объяснить и все движение волны. На рис. 319 показаны круговые пути девяти водяныхъ частицъ, с отмечен-

ным на них положением частиц в определенный момент. Волна подвигается слева направо и частица 1 занимает во взятый момент наивысшую точку своего пути, частица 2 отстоит на V_8 от этого положения, частица 3—на $\frac{1}{4}$ и т. д. Волна имеет в этот момент форму 1, 2, 3 ... 9. Но спустя короткое время (V_8 времени колебания) частица 2 займет положение частицы 1, 3 — положение частицы 2 и т. д., т. е. вся волна подвинется несколько вперед (в положение, указанное пунктирной линией).

Если ветер дует в том же направлении, в котором движутся волны, то он действует на них, как нетрудно видеть, усиливающим образом, так как

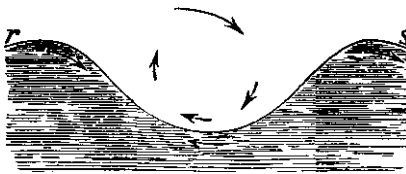
Рис. 319



Движение отдельных частиц воды в волне

он ускоряет движение частиц, находящихся на гребнях волн (рис. 320). Напротив, в долинах волн ветер влияет в том же направлении, но не так сильно. И даже в такой долине может возникнуть небольшой вихрь, имеющий на дне впадины направление прямо противоположное направлению ветра, т. е. то напри-

Рис. 320



Действие ветра на волны.

вение, в котором движутся частицы воды в этом месте. Вследствие того, что ветер, таким образом, усиливает движение частиц воды, когда они находятся в наивысшей точке своего пути, и так как, с другой стороны, он, во всяком случае, не замедляет их и тогда, когда они занимают самое низкое положение, а может быть, даже и здесь ускорять еще их движение, то в результате под действием ветра получается постепенное увеличение волн.

Возникающая вначале маленькая волна ветер приводит в движение благодаря прилипанию воздуха к поверхности воды. То же имеет место и на поверхности отдельных больших волн, вследствие чего поверхность их в ветреную погоду не гладка, а покрыта рябью. Эти маленькие волны представляют множество точек для напора ветра. Движение гребней от этого ускоряется по сравнению с движением долин, что может привести в конце концов к тому, что волна „разобьется“ (опрокидывающиеся гребни) и обрушится в свою долину.

Это не будет иметь места в том случае, когда на поверхности воды находится тонкий слой масла. Одна капля масла может покрыть большую поверхность воды. Масло уменьшает прилипание между воздухом и водой и мешает образованию

ряби на поверхности волн, так что у ветра уже нет точек опоры для давления на поверхность волны и его действие не достигает такой силы, чтобы могло разбивать волны. Вот почему с корабля, идущего в бурную погоду по ветру, нередко выливают на воду немного масла. Тогда море позади корабля, откуда приходят волны, остается гладким и этим уменьшается вероятность того, что волна настигнет судно и что ее гребень опрокинется и обрушится на палубу.

342. Иначе обстоит дело с волнами, которые можно всюду наблюдать, когда они набегают на морской берегъ.

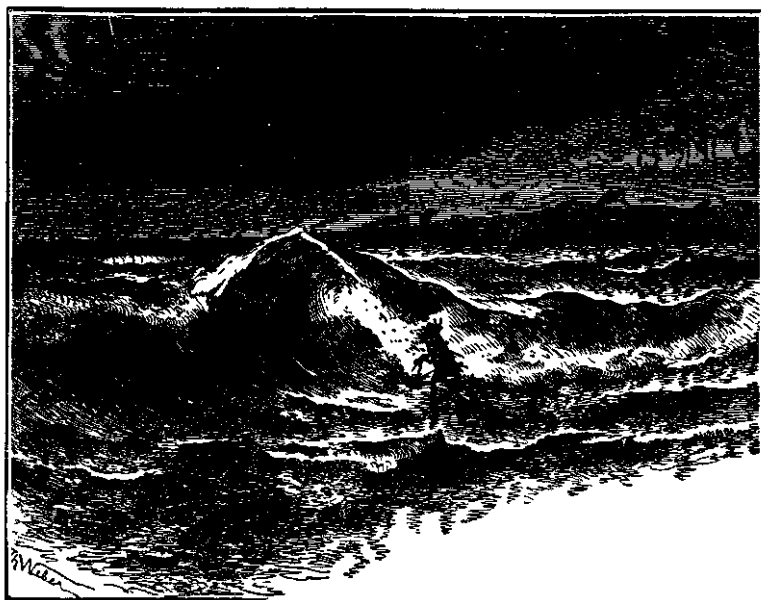
Английский астроном Джордж Эри (1801 — 1892), выполнивший много прекрасных работ на обсерваториях в Кэмбридже и Гриниче, изучил движение волн математически и показалъ, что закон Ньютона для поступательного движения волн справедлив лишь тогда, когда глубина воды в сравнении с длиной волны очень велика. В этом случае движение частиц воды совершается по кругам на любой глубине, но размеры окружностей с глубиной быстро уменьшаются, так что на расстоянии одной длины волны от поверхности диаметр окружности составляет $\frac{1}{16}$ часть диаметра у поверхности.

Далее Эри показалъ, что наблюденные Вебером пути частиц имеютъ место, когда глубина воды незначительна в сравнении с длиной волны. Поступательная скорость волны в этом случае пропорциональна квадратному корню изъ глубины. А так как глубина воды под гребнем волны значительно больше, чемъ под долиной, то гребень должен двигаться быстрее, чем долина; следствиемъ этого является то, что волна разбивается в тех местахъ, где глубина невелика и где, следовательно, разница между глубиною под гребнем и под долиной имеетъ большее значение. То же самое относится и к волнам прилива и отлива, которые весьма велики даже в сравнении с глубиною океана, а особенно в сравнении съ относительно неглубоким Северным моремъ. Поэтому промежуток времени между отливом и следующим за ним приливом короче, чем между приливом и последующим отливомъ. В некоторых местахъ, где прилив набегае^т на обширное мелкое место, он м^{ож}етъ даже так быстро следовать за отливомъ, что волна прилива опрокидывается в долину волны отлива. Если к тому же прилив усиливается темъ, что попадает в суживающееся клином устье рекъ, то явление прилива может производить страшныя действия (рис. 321).

34-3. В воздушной волне, идущей горизонтально, отдельные частицы движутся не вверх и внизъ, а вперед и назадъ, подобно частицам воды на дне жолоба Веберовъ. Вследствие этого в воздухе возникают сгущения и разрежения, как это показано на рис. 322. Пусть каждая малая часть линии ab изображает путь частицы воздуха, а стрелка p пусть указывает направление движения волны. В определенный момент частица 1 находится в середине своего пути и движется в направлении, указанном маленькой стрелкой. Частица 2 по отношению к первой частице несколько отстаетъ. Частица 3 отстает еще больше. Она занимает крайнее левое положение своего пути. Частица 4 еще не достигла своей крайней левой точки, 5 находится в середине своего пути, но движется влево и т. д. Таким образомъ, частицы воздуха находятся ближе всего друг к другу в местах 1, 9, 17 . . ., следовательно, в тех местахъ, где отдельные частицы движутся в том же направлении, как и вся волна. Наиболее удалены частицы друг от друга в ме-

стах 5, 13 . . . , т. е. тамъ, где направление их движения противоположно движению волны. На линии cd частицы воздуха занимают те положения, в которых они находятся спустя $1/4$ времени колебания. Теперь частицы расположены гуще всего у 3, 11 . . . и наиболее удалены друг от друга у 7, 15 . . . Волна подвинулась на V_4 длины волны и т. д.

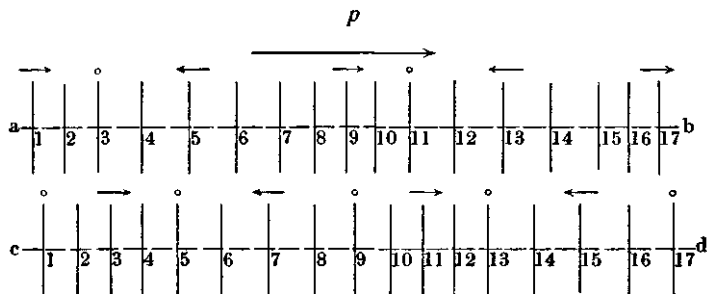
Рис. 321



Приливная волна на р. Амазонкѣ.

344. Скорость, с которой распространяется это движение, есть скорость звука, величина которой, как было найдено путем наблюдений, равна 1100 футам или 330 метрам в секунду (§ 339). Ньютон показал, что скорость звука можно определить

Рис. 322



Распространение воздушныхъ волнъ.

также теоретическим путемъ, даже при распространении звука в любом теле. Если представить себе столб из данного вещества высотой в 1 м, то вследствие собственного веса он должен быть несколько сжатъ, причем степень сжатия будетъ зависеть от взятого вещества. Зная величину этого сжатия, составляющую незначи-

тельную долю метра, можно вычислить скорость звука в этом теле. Ньютонъ показалъ, что скорость звука в каждом теле выражается формулой $V = \sqrt{e}$, если

через e обозначить величину указанного сжатия.

Нет ничего удивительного в томъ, что скорость звука определяется столь простой и общей формулой. Дальнейшие выводы из этой формулы не могут быть здесь приведены. Но легко убедиться в томъ, что двумя величинами, входящими в нее, охвачены все условия, от которых зависит скорость звука. Нужно думать, что сгущение распространяется в теле тем быстрее, чем большие сопротивление, которое оно оказывает сжатию, и чем тело легче. Скорость звука, следовательно, должна быть тем больше, чем меньше сжатие e , испытываемое теломъ вследствие своего собственного веса. — Сжатие это, очевидно, тем больше, чемъ большие притягательная сила земли. С другой стороны, скорость звука должна зависеть исключительно от вещества тела. На луне, напримеръ, она должна быть такой же, как и на земле. Но на луне сжатие, обусловленное собственным весомъ, равняется только Vc^e — так как сила тяжести там равна только $\frac{1}{6}g$ отношение, которое определяет собой скорость звука, остается без изменения. Формула дает скорость звука в секунду, так как g представляет скорость падающего тела в секунду.

Если нужно вычислить скорость звука в воздухе, то предварительно нужно получить величину e . Представим себе 1 кубсм воздуха при обыкновенном давлении, т. е. под давлениемъ, равным давлению столба ртути высотой в 0'760 м. Весъ

столба воздуха равен $\frac{1}{10500}$ веса одного кубсм ртути (§ 263). Воздухъ,

следовательно, сжат в отношении $\frac{1}{750095}$ — 0'999875. Столб воздуха в 1 м вы-

сотой, следовательно, сжимается приблизительно на 0-000125 или на $\frac{1}{8000}$. Это и

есть величина e . Так как g равно приблизительно 10 м, то g/e равно 80000. Квадратный корень из этого числа равен 283. Скорость звука въ воздухе, полученная из формулы, равна, следовательно 283 м (приблизительно 900 ф.). Это число равно приблизительно $\frac{5}{6}$ величины, найденной путем наблюдения. Долго ломали себе голову над причиной погрешности, так как математическое обоснование формулы было по всей видимости неоспоримо. Ньютон сам сделал предположение, что атомы воздуха занимают приблизительно $\frac{1}{6}$ пространства и что звуку не требуется времени, чтобы проходить в нихъ. По этому допущению звук должен пробегать в секунду 900 ф. между атомами, а 200 ф. в самих атомахъ—всего, следовательно, 1100 ф. Старания многих математиков XVIII столетия разъяснить дело не имели успеха. Истинная причина явления была указана только въ 1816 г. Лапласомъ.

345. Пьер Симон Лапласъ, родившийся в 1749 году, начал свою карьеру математиком и в качестве такового прибыл в Парижъ, где стал членом Академии наукъ. При Наполеоне он сделался министром и канцлеромъ, имъ же онъ был возведен в графское достоинство. При Людовике XVIII Лаплас былъ сделан пэром и маркизомъ. Он умер в 1827 г. въ Париже.

Лаплас расширил и продолжил во многих отношениях начатая Ньюто-

ном теоретических работы, в том числе математическое определение скорости звука. Когда воздух сжимается, он нагревается (II, § 172), а при расширении он охлаждается. Лаплас указывает, что вследствие этого сгущенная часть воздушной волны теплее, а разреженная холоднее, чем воздух, находящийся в покое. От этого средняя температура воздуха не повышается, но он приобретает большую упругость. Нагревание сгущенной части волны повышает в ней давление, а охлаждение разреженной части волны понижает давление по сравнению с нормальным. Распространение давления вследствие этого ускоряется. Упругость воздуха возрастает, но средняя плотность его остается прежней. Когда Лаплас при вычислении принял во внимание это обстоятельство, он нашел для скорости звука величину, которая вполне совпадала с показаниями опыта.

При 0° эта скорость равна 1059 футам и она увеличивается приблизительно на 2 фута (0,6 м) при повышении температуры на 1 градус. То обстоятельство, что прежние измерения скорости звука плохо согласовались между собой, объясняется отчасти тем, что при них не было принято во внимание влияние температуры.

346. Формула Ньютона имеет то большое преимущество, что благодаря ей можно определить скорость звука в любом теле, если только известны его сжимаемость и удельный вес, если, следовательно, известно, насколько сжимается сам по себе столб воздуха в 1 м высотой.

Так как все газообразные тела сжимаются одинаково (закон Бойля, § 259) то сжатие, испытываемое столбом газа вследствие собственного веса, должно быть пропорционально его удельному весу. Если этот удельный вес невелик, то невелико и сжатие, а скорость звука, следовательно, велика. Водород приблизительно в 15 раз легче воздуха. Вследствие этого в формуле скорости звука знаменатель в 15 раз меньше и подкоренное количество в 15 раз больше, чем для воздуха. Корень, а следовательно, и скорость звука в водороде, таким образом, приблизительно в 4 раза больше, чем в воздухе. Точнее, она равна 4044 фут. при 0° (1266 м). В угольной кислоте, которая тяжелее воздуха, скорость звука равна 833 футам (261 м).

347. Сжимаемость многих жидкостей и твердых тел также была измерена, что сделало возможным определение скорости звука в них. Результаты этих вычислений были подтверждены наблюдением для различных веществ, которые допускают прямое измерение скорости звука.

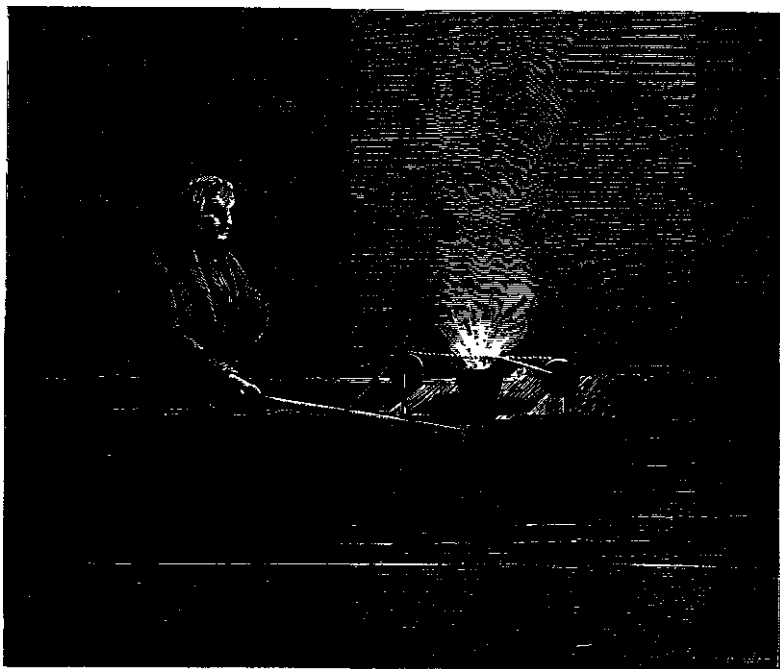
Тщательное измерение скорости звука в воде было сделано в 1827 г. Колладоном и Штурмом на Женевском озере. Каждый из этих двух наблюдателей при производстве опыта находился в лодке. С одной лодки спускался в воду колоколь, по которому можно было ударять молотком. Ломанный рычаг, образующий рукоятку молотка, при своем движении опускал горящий фитиль в небольшую кучку пороха. Таким образом посылался одновременно световой сигнал в воздухе и звуковой сигнал в воде (рис. 323 и 324). Лодки находились на расстоянии нескольких миль друг от друга, и наблюдатель во второй лодке отмечал при помощи погруженной в воду слуховой трубы и секундных часов промежуток времени между восприятием луча света и восприятием звука. Так как время, необходимое свету для прохождения столь короткого расстояния, неизмеримо мало, то наблюдаемый промежуток времени есть именно тот, в течение

которого звук пробегает это расстояние. Скорость звука в воде, полученная из этого опыта, равна 4572 ф. (1435 м). Эта величина очень мало отличается от числа (1453 м), полученного путем вычисления из сжимаемости воды ($e = 0.00000465$).

В морской воде скорость звука несколько больше, приблизительно 4700 ф. (1475 м) и несколько отличается от этого числа в зависимости от содержания соли и от температуры.

На берегу моря можно иногда слышать выстрел, произведенный в отдаленном месте или на корабле, дважды. Первый звук распространился по воде, а второй по воздуху.

Рис. 323



Измерение скорости звука в воде, произве-

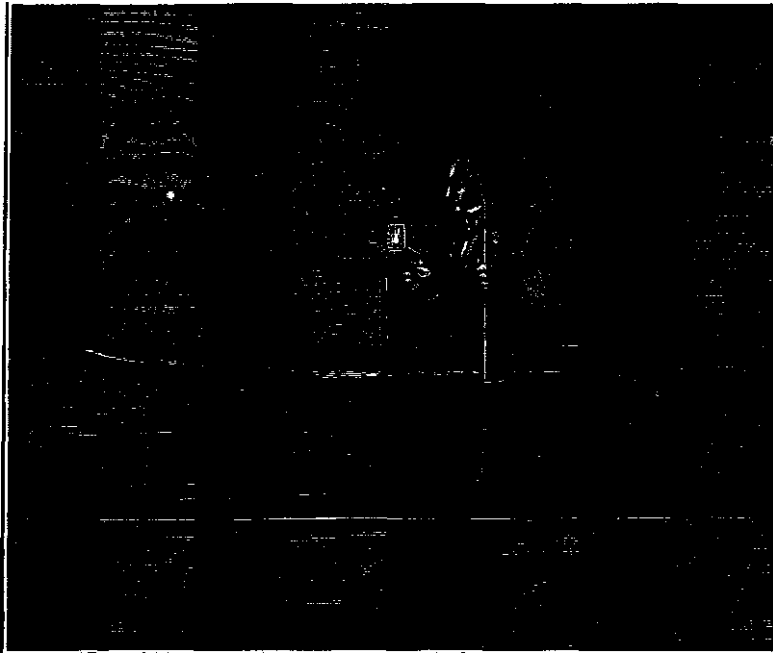
348. Французский физик Жан Батист Био (1774—1862) слышал подобный же двойной звук у конца железной трубы длиной в 951 м., когда у другого конца производился удар молотком. Звук, доходящий первым, распространяется, очевидно, по железу, а второй по воздуху в трубе. Био определил, насколько возможно точно, промежуток времени между первым и вторым звуками и вычислил скорость звука в железе. Он нашел, что она равна 3460 м, т. е. в 10 раз больше скорости звука в воздухе. Позднейшие измерения по телеграфной проволоке длиной свыше $\frac{1}{2}$ мили дали приблизительно такое же, но несколько большее число.

Так как и удельный вес и сжимаемость тел зависят от способа их обработки (вытягивание, сплющивание, литье, накаливание, закалка), то скорость звука в телах зависит и от этого. Средняя скорость звука в олове составляет

2500 м, в серебре 2760 м, в меди 3760 м, в стали 5000 ж, в сосновом дереве 5800 м. Сосновое бревно в 20 м. длиной пробегается звуком приблизительно в Y_{300} секунды.

349. Если произвести колебание в какой-нибудь точке спокойной поверхности воды, например, бросив в воду камень, то это сотрясение передается по всем направлениям с одинаковой скоростью; возникают известные круговые волны, выходящая из данного места и становящаяся все слабее по мере удаления от него. Таким же образом нарушение покоя в каком-нибудь месте в воздухе, путем произведения взрыва, распространится равномерно по всем направлениям. Из этого

Рис. 324



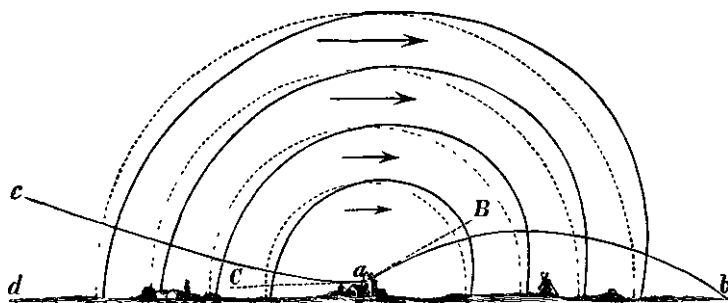
денное Колладоном и Штурмомъ.

места будут выходить сферическая волны, которая по мере удаления от исходной точки ослабевают. Направление распространения повсюду перпендикулярно к поверхности волны. Легко видеть, что это так и должно быть, так как различные части поверхности сферической волны имеют одну и ту же плотность и нет, следовательно, оснований к тому, чтобы движение одной такой части передавалось другой части той же самой сферы. Если, однако, благодаря какому-нибудь обстоятельству, форма поверхности волны изменяется, то изменяется также направление распространения. Это может производить иногда совершенно неожиданные явления. Так иногда звуки слышались на удивительно большое расстояние, с другой же стороны случалось, что выстрелы из орудий не были слышны на сравнительно небольшом расстоянии.

Известно, что в направлении, по которому дует ветер, звуки слышатся

лучше, чем в противоположномъ. При этом обыкновенно удовлетворяются объяснениемъ, что въ направлении ветра к скорости звука прибавляется скорость ветра. Что это объяснение недостаточно, легко видеть, если припомнить, что движение воздуха со скоростью 10 м в секунду ощущается, как довольно сильный ветеръ, но распространяется ли звукъ вместо 330 м со скоростью в 340 или 320 м, смотря по тому, движется ли он по ветру или против него,—это не можетъ, очевидно, иметь значительного влияния на силу звука. Английский физик Джон Тиндалль (род. в 1820 г. ум. в 1893 г.) объяснил это явление следующим образомъ. Скорость ветра на высоте почти всегда больше, чем непосредственно у поверхности земли (рис. 325). Вследствие этого поверхности волнъ, которая в спокойном воздухе должны быть

Рис 325



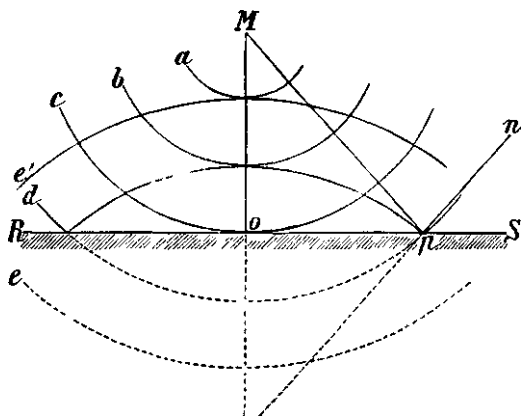
Распространение звука по ветру и против ветра.

сферическими (пунктирные линии), изменяют свои формы, распространяясь вверх в направлении ветра (направление стрелки) быстрее, чем у поверхности земли. Поэтому они принимают формы, обозначенные сплошными линиями. А так как распространение звука в каждой точке происходит перпендикулярно к поверхности волны, то звукъ, исходящий из точки *a* в направлении *aC*, не достигнет наблюдателя, находящегося в точке *d*, но пройдет над ним в направлении *ac* и наблюдатель в точке *d* не услышит звука. Напротив того, звукъ, выходящий по направлению *aB*, распространяется по линии *ab*, которая повсюду перпендикулярна к поверхности волны. Звукъ, следовательно, будет услышан наблюдателем въ точке *B*, и все звуки, исходящие из *a* по направлениям ниже *aB*, будут отклонены подобным же образом и достигнут земной поверхности в различныхъ точках между *a* и *B*. Эта часть земной поверхности получить, следовательно, больше звуковъ, чем собственно следовало бы, а именно, все звуки, которые при безветренной погоде распространились бы по всему пространству под *aB*.

350. Если волны какого либо рода, — звуковыя ли волны или водяныя—, достигают границы какой-нибудь среды, более плотной, чем та, в которой они распространялись до этого, то они отражаются, так как доходящее до этой границы сгущение должно сгладиться, а это может произойти только в том случае, если колеблющиеся частицы воздуха или воды отразятся от границы среды. Каждая часть волны, конечно, отражается, достигнув стены, и так как направление распространения звука перпендикулярно к поверхности волны, то отсюда можно найти направление, в котором волна отразится от стены.

Пусть M (рис. 326) будет точка, из которой исходят волны a, b, c, d , а RS отвесная стена. Волна d , которая должна была бы распространяться по пунктирной линии d , отражается от стены и идет по сплошной линии d . Подобным же образом волна e возвращается по e' . Отраженные от стены волны симметричны с теми волнами, которые образовались бы при дальнейшем распространении волнообразного движения. Оне состоятъ, следовательно, из кругов с центром m , который симметричен M , т. е. находится на продолжении перпендикуляра Mo , на таком же расстоянии позади стены, на каком M находится впереди ея. Отраженные вол-

Рис. 326 ны возвращаются от стены такъ,



как еслибы оне исходили из m . Линия mpn образуетъ, следовательно, с RS такой же уголь, как и Mr . Таким образомъ, такъ же, как и при отражении света от зеркал (§ 85), угол падения равен углу отражения.

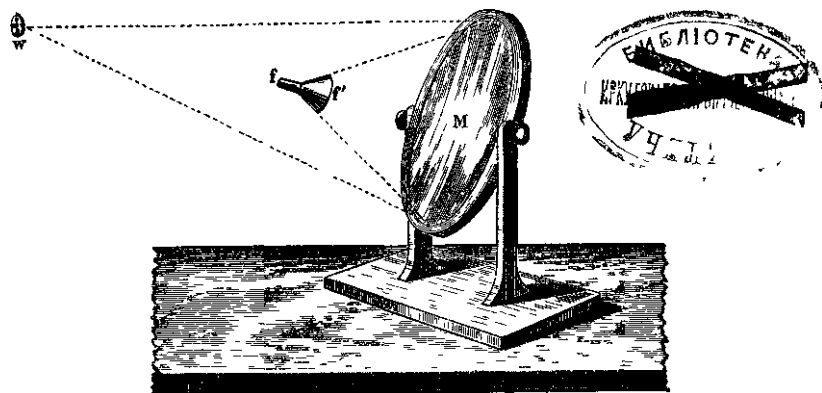
Вследствие этого звук отражается от стен различной формы таким же образомъ, как свет от зеркалъ, устроенных соответственным образомъ. Вогнутое зеркало M (рис. 327) можетъ, напримеръ, отразить в слуховую во-

Отражение звука от плоской стены.

ронку/ тикание часовъ, находящихся в W , как это видно на рисунке.

351. Под открытым небом звуковые волны часто отражаются стенами, скалами, опушками лесовъ. Смотря по тому, как построена стена, слышится более или

Рис. 327



Отражение звука от вогнутого зеркала.

менее ясное эхо. Какой промежуток времени проходит отъ/возникновения звука до восприятия эхо, зависеть, конечно, от расстояния отражающей стены. Если это расстояние невелико, то чтобы эхо было слышно отдельно и чтобы последняя

часть звука не сливалась с первой частью эхо, звук должен быть короткимъ. Даже облака могут вызывать эхо, что несомненно способствует образованию „раскатовъ" грома.

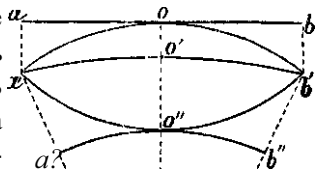
В некоторых помещениях с изогнутыми стенами шумъ, производимый въ одном месте помещения, можно ясно слышать в другом определенном месте его. Это явление объясняется также отражением звука. Стены действуют в таком случае, как вогнутое зеркало действует на лучи света, а именно такъ, что звуковыя волны концентрируются в одном месте и здесь взаимно усиливаются.

В больших помещениях, церквях или залахъ, стены, потолки, своды и колонны представляют гладкия поверхности, расположенныя в самых различных направленияхъ; звуки, отражаясь от каждой из этих поверхностей, доходят до уха через различные промежутки времени, вследствие чего получается впечатление более продолжительного гула. Связная речь становится непонятной, потому что уха одновременно достигают части различных словъ. Этот отзвук обуславливает плохую „акустику" таких помещений для произнесения речей. Но при торжественной музыке это совпадение звуков не мешает сколько-нибудь заметным образомъ.

352. Когда звуковая волна переходит из одной среды в другую, ея форма меняется. Пусть $a' o B' o''$ (рис. 328) представляет собою чечевицеобразный пузырь из коллодия, наполненный угольной кислотой. Если на эту чечевицу падает звуковая волна $a b$, то середина ея проходит расстояние

Рис. 328

от o до o' в то время, как края перемещаются от a до a' и от b до B' , так как в угольной кислоте волна распространяется медленнее, чем в атмосферномъ воздухе (§ 346). В то время как в угольной кислоте волна пройдет расстояние от o' до o'' , в воздухе она распространится от a' до a'' и от B' до B'' . Прямолинейная волна $a b$, таким образомъ, превращается в криволинейную $a'' o'' B''$, которая, идя дальше, сосредоточивается в точке p , где поэтому действие волны сильнее всего.



Отражение и преломление звука происходят, как мы видимъ, по тем же законамъ, как и отражение и преломление света (ср. §§ 75, 85, 94).

353. Как волны, подымающиеся на воде, так и волны сгущения в воздухе обуславливаются темъ, что ча- Преломление звуковых волнь при прохожденн через угольную кислоту.

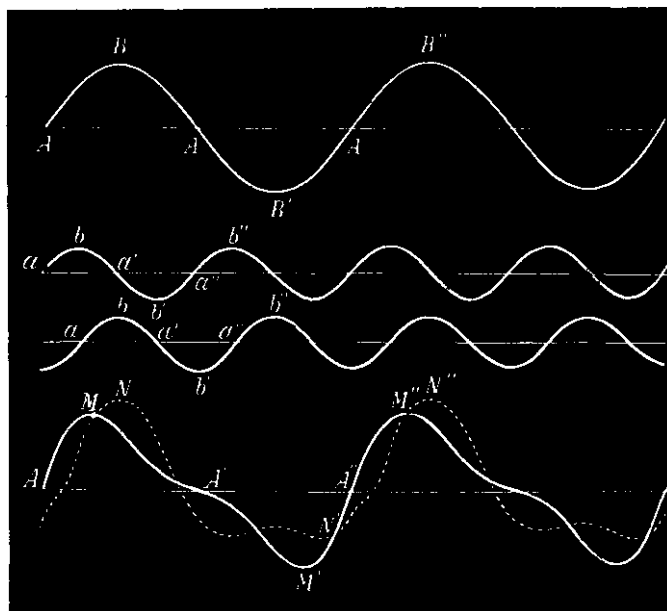
стички воды или воздуха передают соседним частицам некоторое давление или движение. Легко видеть, что произойдетъ, если несколько волн одновременно произведут давление на частицу или сообщат ей движение.

Стевин показал (§ 175), как складываются две силы (давления), дейавующия на одну и ту же частицу, а Галилей выяснил (§ 147), каково будет движение частицы, если сообщить ей одновременно два различных движения. Отсюда легко сделать тот выводъ, что частица, подвергающаяся одновременно действию двух или нескольких систем волнъ, испытывает в каждый данный момент то давление и совершает то движение, которыя являются результирующими давлений и движений отдельных системъ.

Подобное совокупное действие различных систем волн можно наблюдать на берегу, когда ветер производит на поверхности воды небольшие волны и пароход посылает издали несколько волн большей величины. Можно наблюдать, как мелкие волны поднимаются на гребни больших волн и опускаются в их долины. Точно таким же образом ухо, воспринимая одновременно несколько тонов, идущих с различных сторон и образующих в действительности некоторый комплекс звуков (сложный звук), в состоянии узнать любой из них с его особенностями. Это показывает, что в таком комплексе каждое из складывающихся действий существует отдельно и что ухо в состоянии выделить его из комплекса.

Такая сложная волна может иметь очень неправильную форму. Даже ряд правильных волн ABB^1B'' (рис. 329) и ряд волн $abb'b''$ той же формы, но

Рис. 329



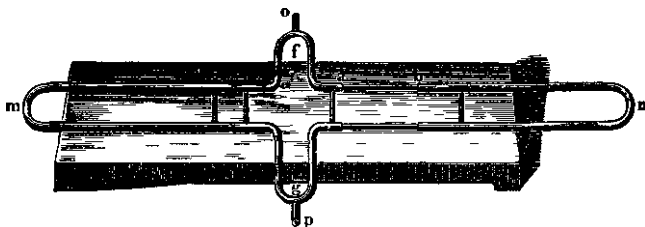
Сложение волн.

вдвое меньшей длины, образуют волну $AMMM''$ уже довольно сложной формы. Если второй ряд волн несколько сдвинуть, то форма результирующей волны NN^1N'' будет еще сложнее. Но она все же еще относительно проста по сравнению с волнами, возникающими от сложения нескольких систем волн, форма и отношение длин которых более сложны.

354. Одним из следствий сложения нескольких волн является интерференция. Она состоит в том, что две системы волн одинаковой длины^ некоторых местах слагаются так, что их действие усиливается, между тем как в других местах они взаимно уничтожаются, так как гребень одной волны совпадает с долиною другой. Если перед трубкой o представленного на рис. 330

прибора произвести звукъ, ТО волны этого звука пройдут в обе ветви трубки и одновременно выйдут из отверстия p . Если оба эти пути будут одинаковой длины, ТО волны достигают p в одинаковом состоянии (фазе), вследствие чего в этомъ месте будет слышен сильный звукъ. Если теперь удлинить одну ветвь трубки, вытянув подвижную часть, ТО звук в p делается слабее и даже исчезнет совершенно, когда пути, пробегаемые звуковыми волнами в двух ветвях трубки, будут отличаться друг от друга на длину полуволны. Если еще больше удли-

Рис 330



Интерференция звуковых волнъ.

нить трубку, ТО тон снова усилится, и когда одна ветвь трубки станет длиннее другой на целую волну, ТО тон снова получит свою первоначальную силу.

Другой пример интерференции можно наблюдать без всяких вспомогательныхъ средств на камертоне¹⁾. Если ударить камертонъ, ТО он начинает колебаться таким образомъ, что его ножки ТО сближаются, ТО удаляются друг от друга. При сближении от ножек исходят две волны разрежения, а от промежутка между ними две волны сгущения. При удалении ножек друг от друга будет обратное явление. В томъ месте, где разрежения сталкиваются со сгущениями, сгущения и разрежения взаимно уничтожаются. В этомъ можно убедиться, держа камертонъ перед ухом и вращая между пальцами его ручку. Звук исчезает всякий разъ, когда камертонъ направлен къ уху таким образомъ, что сгущения одной системы совпадают в ухе с разрежениями другой системы.

Обыкновенно говорят об интерференции звука только с самим собой или со своимъ эхо или с другим звукомъ точно такого же числа колебаний. Можно, однако, считать за явление интерференции и ИБ биения, которые были описаны въ § 338, где сгущение воздуха, производимое одним звукомъ, совпадает въ известное время с разрежением другого, вследствие чего они взаимно уничтожаются, а спустя короткий промежуток времени сгущение одного звука слагается уже со сгущением другого и они усиливают друг друга.

355. Если вблизи струны, настроенной на известный тонъ, сильно зазвучить этот тонъ, ТО струна также начнет звуча^ъ, что легко заметить, прекративъ первый тонъ. Это явление было известно уже давно, когда в середине XVIII века его исследовали два ученика Валлиса (§ 178), Вильям Нобль и Томасъ Питотъ. Валлис сделал сообщение об этомъ в изданиях Королевскаго Общества.

Такие тоны назывались симпатическими тонами. Это название напоминает о

*) Камертонъ был изобретень английским военнымъ горнистомъ Джономъ Шоромъ около 1711 года.

наблюдениях, сделанных над часами. Гюйгенс заметил, что двое часовъ, КО-
торые в течение суток расходятся между собою на пять секундъ, начинают идти
одинаково, если поместить ихъ в одной комнате, хотя бы и на разстоянии 15 футовъ
друг от друга. Гюйгенс объяснял эту „симпатию" движением воздуха; НО въ
1739 году англичанин Элликот заметил нечто подобное на двух часахъ, по-
мещенных на разстоянш только двух футов друг от друга, НО в двух плотно
закрытых футлярахъ. Эти часы расходились между собою на 90 секунд в сутки,
НО симпатия в этом случае была Иак велика, что каждые из нихъ, будучи оста-
новлены, через V_4 или V_a ^{часа сами} приходили в движение. Элликот показалъ,
что это происходит вследствие небольшихъ, самих по себе незаметных движений,
которые передаются от идущих часов к остановившимся. И когда он соеди-
нял футляры часов деревянной палкой, остановившиеся часы приходили в движе-
ние гораздо быстрее.

Это явление показываетъ, что колеблющемуся телу, напримеръ, маятнику, можно
сообщить значииельныя колебания при помощи ряда слабых толчковъ, правильно
следующих один за другимъ. Движение маятника не только сохраняется, НО и
усиливается последующими толчками.

То же справедливо и для струны. Действие каждой изъ волнь, достигающихъ
ея, само по себе незначительно, НО эти действия суммируются, и так как до
струны доходят за короткий промежуток времени сотни волнь, ТО оне сообщаютъ
ей достаточно сильныя колебанш, при условии, конечно, что оне достигаютъ ея въ
надлежащие моменты, т. е. при условии, что звучащий тон в точности совпадаетъ
с тоном струны.

356. Опыт Нобля и Пигота привел к объяснению другого явления, также
небезызвестного раньше.

Эолова арфа (рис. 331) была известна, вероятно, еще в древности; по дру-
гому мнению, ее открыл немецкий математик А анасий Кирхер (1601—
—1680);

Рис 331 изобретателем ея

называют также шотланд-
ского врача Освальда. Быть можетъ, каждый
из них изобрел ее самостоятельно или
придал ей особенно целесообразную форму.
Эолова арфа состоит из рамки, на которой
натянута несколько струнь; ее помещаютъ
в таком месте, где струны могут быть
приводимы въ движение ветромъ. Если даже
ограничиться одной струной, ТО можно по-
лучить целый ряд различных тоновъ.—
Нечто подобное, НО с гораздо меньшимъ
разнообразием тоновъ, можно наблюдать,
когда сильный ветер приводит в движение
телеграфные провода.



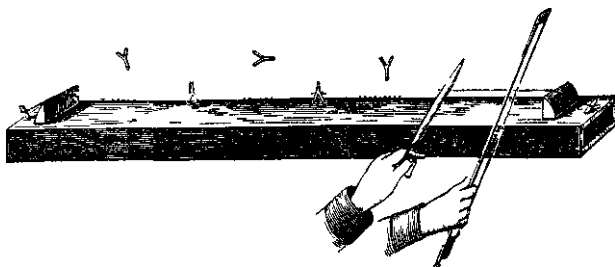
Эолова арфа.

Нобль и Пигот нашли, что стру-
на может быть приведена в колебание не
только тоном одинаковой высоты с ея ТО-
номъ, НО и некоторыми другими, а именно теми тонами, числа колебаний которыхъ

в два, три, четыре и т. д. раз больше. Струна издает в этом случае не свой низкий тонъ, а более высокий, именно тотъ, который приводит ее в колебание. Накладывая на струну бумажки, можно доказать, что струна колеблется при этом не всей своей длиной: середина ее остается в покое, если число колебаний тона, вызывающего ее звучание, вдвое больше числа колебаний струны; если число колебаний этого тона втрое больше, ТО в покое остаются две точки струны и т. д. На тех местах струны, которая остаются в покое, — в так называемых узлах—, бумажки неподвижны, со всех же других мест оне соскакиваютъ.

357. Совёръ, не знавший об этих опытахъ, несколькими годами позже делал вполне аналогичные имъ. Вместе с тем он нашел новый способ заставить колебаться струну, разделенную на две, три, четыре и т. д. части. Способъ этот заключается в томъ, что струны касаются пальцем в точке, отделяющей половину, треть, четверть и т. д. ее, и посреди отделенной части проводят смычкомъ. Этот опыт изображен на рис. 332. Здесь колеблются четыре части струны, образуя три узла. Бумажки в узловых точках остаются неподвижными, между тем как с утолщенных частей струны (пучностей) оне соскакиваютъ. Названия

Рис. 332



Колебание струны, имеющей три узла.

„узлы" и „пучности" были введены Совёромъ. Если внимательно наблюдать колеблющуюся струну с узлами, ТО можно легко отличить части, находящиеся в движении, от частей, находящихся в покое,—пучности и узлы. Колебания происходят таким образомъ, что две части, отделенныя узломъ, движутся в противоположныхъ направленияхъ.

Тоны двойного, тройного и *И.* д. числа колебаний называются по отношению к основному тону обертонами. Для понимания теории музыки и речи обертоны имеют большое значение.

358. Способ сделать видимыми колебания пластинок был найден Хладни, родившимся в 1756 году в Виттенберге и умершим в Бреславле в 1827 году. Хладни изучал юриспруденцию и получил степень доктора правъ, но после смерти отца стал изучать естественныя науки и особенно занимался акустикой. Он отдался всецело своим любимымъ занятиямъ, не занимая никакой должности. Хладни зарабатывал себе на жизнь литературной деятельностью, а также лекциями и демонстрациею изобретенных имъ приборовъ, между которыми были два музыкальных инструмента, не вошедшихъ, однако, в общее употребленіе. В одномъ изъ нихъ, эвфоне, звуки получались от проведения влажными пальцами по стеклянным палочкамъ, в другомъ, цилиндрическом пианино (*Klavierzylinder*), посредствомъ

прижимания деревянных палочек к вращающемуся стеклянному цилиндру. Хладни опубликовал также несколько сочинений о метеоритах, в которых он доказывал, что они появляются не из атмосферы, а из мирового пространства. Мнение это в то время было ново и многими оспаривалось, между тем как в настоящее время оно общепринято.

Если упругую пластинку из стекла или из латуни, укрепленную в одной точке, придержать в другом месте пальцем и провести по краю ее смычком, то пластинка начинает колебаться, но так, что некоторые линии на ней останутся в покое. Хладни сделал видимыми

посыпав пластинки

Во время колебания

пластинки песчинки сбрасываются с колеблющихся частей и собираются на узловых линиях (рис. 334).

На рис. 335 изображено несколько таких фигур, получающихся на укрепленной посредине квадратной пластинке, если коснуться ее пальцем в точке *a* и провести смычком в месте *б*. Можно получить множество фигур другой формы. Касаясь любого места пластинки и проводя где-нибудь по краю смычком, можно почти всегда получить особую фигуру, которая тем красивее, чем чище тонъ.

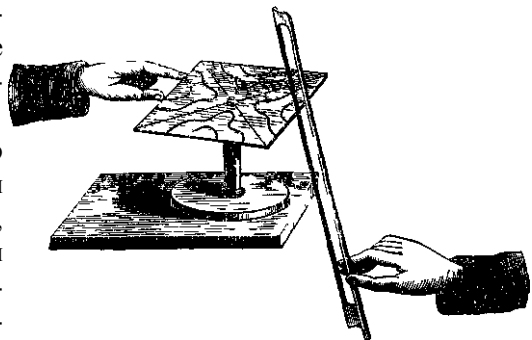
Чем выше тонъ, тем больше число отдельно колеблющихся частей пластинки и тем сложнее фигуры. На рис. 336 а изображены некоторые более простые, а на рис. 336 б более сложные

Хладниевы фигуры, получающиеся на круглых пластинках. Чтобы получить фигуры, состоящие из кольцеобразных линий, нужно укрепить пластинку не в центре, а в одной из точек (CL) имеющего

провести смычком по краю пластинки или лучше по краю круглого прореза в середине пластинки.

359. Было найдено также, что колеблющиеся струны и пластинки и вообще все звучащие тела дают, кроме основного тона, обертоны и в том случае, если даже их намеренно и не вызывать прикосновением. Но в большинстве случаев эти обертоны не очень сильны. Осо-

Рис. 333 "эти узловыя линии, сухим пескомъ."

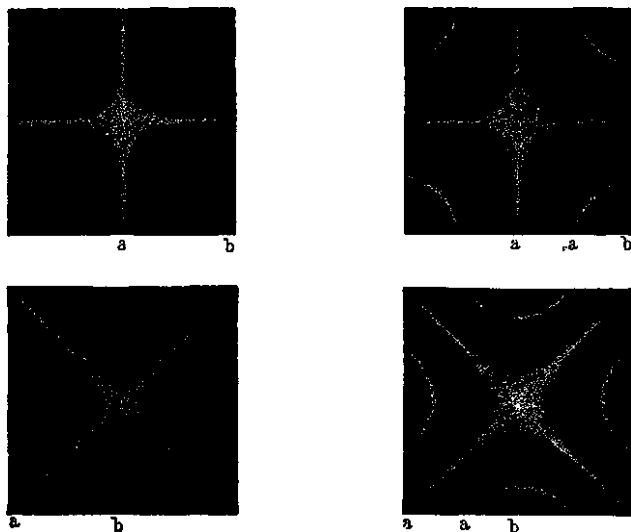


Получение Хладниевых фигур.

бенно много для изучения обертонов сделал Герман Людвиг Фердинандъ фонъ-Гельмгольц (род. в 1821 году в Потсдаме, умер в 1894 году въ Шарлоттенбурге).

Гельмгольцъ был сыном учителя гимназии. Он посещал гимназию своего родного города, а затем изучалъ в Берлине медицину. В 1843 году он сде-

Рис. 335



Хладниевы фигуры на квадратной пластинке

лся военным врачом в Потсдаме, в 1848 учителем анатомии в художественной школе в Берлине, а в 1849 профессором физиологии в Кёнигсберге, где и начал свой ценный ряд физиологических открытий. Как врач, Гельмгольцъ стоял на той точке зрения, что процессы в человеческом теле происходят по



Рис. 336

Ъ

Хладниевы фигуры на круглых пластинкахъ.

тем же физическим и химическимъ законамъ, как и явления вне его. Соответственно этому Гельмгольцъ тщательнее, чем кто-либо, изучилъ физическую сторону явлений зрения и слуха.

По его объяснению заднюю стенку чужого глаза нельзя видеть потому, что она отражает только тот светъ, который исходит от предмета, отпечатлевающегося на ней. Так как этим предметом является глаз наблюдателя, не испускающий света, то задняя стенка глаза и кажется темной. Чтобы осветить ее, Гельмгольцъ помещал стеклянную пластинку в косом положении между обоими глазами, наблюдающим и наблюдаемымъ, так что свет от поставленной сбоку лампы отражался в наблюдаемый глазъ. Свет возвращался из глаза и сквозь

стеклянную пластинку проходил в глаз наблюдателя. Но возвращающиеся из глаза лучи становятся настолько сходящимися, что для получения ясного изображения стенки наблюдаемого глаза (ср. § 111) их приходится рассеивать при помощи че-чевицы. Таким образом Гельмгольц изобрел глазное зеркало. Впоследствии ему придавали и другие формы. Оно приобрело большое значение при лечении глаз и с его помощью Гельмгольц сделал несколько других важных открытий.

В 1855 г. Гельмгольц стал про-Рис. 337

фессором физиологии в Бонне, а в 1858 г. в Гейдельберге. В 1871 г. он был приглашен в Берлинский университет директором физического института, а в 1888 И. назначен директором вновь открытого юсударственного физико-технического института в Шарлоттенбурге. Эту должность он занимал до смерти.

360. Особенно много сделано Гельмгольцем в области физики уха. При своих исследованиях он пользовался изобретенным им самим простым прибором, так называемым резонатором. Чтобы понять его действие, необходимо предварительно рассмотреть колебательныя движения воздуха в трубахъ.

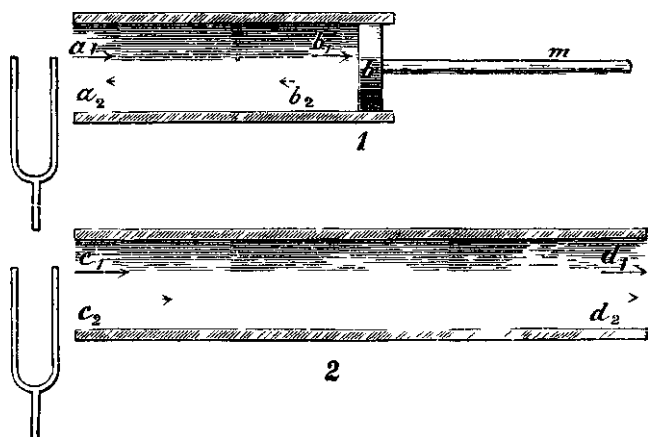


Уже давно было известно, что трубы определенной длины усиливают тоны известной высоты, причем тоны эти различны въ зависимости от того, открыты ли оба конца трубы или же только один из нихъ.

Если поместить ножку камертона перед отверстием трубы (рис. 338, 1), въ которой на разстоянии Y_4 длины волны издаваемого камертоном тона (ср. § 343) находится дно или поршень, то при каждом своем колебании в сторону отверстия камертон посылает в трубу волну сгущения a . Дойдя до дна b , эта волна отражается и возвращается к отверстию a_2 в тот моментъ, когда ножка камертона удаляется от отверстия, и когда образуется, следовательно, волна разрежения. Таким образомъ, движение a_2 усиливает действие камертона, вызывающего в этот моментъ разрежение (долину волны). Это разрежение в свою очередь распространяется по направлению ко дну, возвращается к отверстию и втягивает воздух в отверстие (Z_1) в то время, когда ножка камертона движется по направлению к отверстию и вызываетъ, следовательно, движение в том же направлении (^{1}). Отраженные от b движения, таким образомъ, совпадают у отверстия трубки с теми движениями, которыми производит камертонъ, и потому тон усиливается. То же имеет место, если длина трубки равна $\frac{3}{4}$ длины волны издаваемого камертоном тона. В этомъ случае волна доходит до отверстия не через $\frac{1}{4}$ времени колебания, а через $1\frac{1}{2}$ таких промежутка времени и находится, следовательно, в той же фазе. Вообще тон усиливается закрытой трубой, если длина его волны составляет $Y_4, {}^3D, {}^5Au, {}^7A$ и т. д. длины трубы.

Если держать звучащий камертон у отверстия трубы, которая открыта с обоих концов и длина которой равна 1λ длины волны тона, то звук также усиливается. В самом деле, когда волна сгущения C_1 доходит до другого конца трубы gf , то сгущенный воздух получает возможность свободно распространяться во все стороны. Вследствие этого в конце трубы получается разрежение; оно распространяется по трубе к другому ее концу и вызывает здесь движение (c_2), совпадающее с тем, которое в этот момент возбуждается камертоном. Таким же образом открытая труба усиливает звук, когда длина трубы превышает длину волны в

Рис. 338



Усиление звука трубами

1, $P/2$ и 2, $2\frac{1}{2}$ и *и* д. раз. Другими словами, открытая труба усиливает звуки в тех случаях, когда ее длина содержит четное число четвертей волны, закрытая же, когда нечетное.

361. Этим путем объясняется также действие обыкновенного свистка и органной трубы (рис 339). Струя воздуха, вдуваемого через небольшое отверстие, попадает на острый край и здесь должна изменить свое направление и либо пойти внутрь трубы, либо выйти наружу. Если бы движение струи воздуха не было ограничено трубою, то воздух беспорядочно стремился бы к острому краю и издавать бы свистящий звук, как это бывает в том случае, когда струя воздуха разбивается о лезвие ножа. Но, попадая в определенный момент в закрытую трубу, струя воздуха произведет сгущение и звук пробежит всю длину трубы от начала до конца и вернется обратно. Вследствие этого создастся движение, направленное наружу, т. е. струя направится во внешний воздух. Это поведет к образованию разрежения, которое в свою очередь распространится до конца трубы, возвратится обратно и заставит струю воздуха снова войти внутрь. Таким образом, струя воздуха будет попеременно направляться то внутрь трубы, то в наружный воздух,—возникнет тон, время колебания которого будет равно времени, необходимому для того, чтобы звук пробежал длину трубы четыре раза (два раза туда и два раза обратно).—Труба может издавать и более высокие тоны, соответствующие тонам, упомянутым в § 360. Эти тоны возникают в том случае, если труба не слишком широка и если воздух вдувается в нее с силой.

И при открытой трубе струя воздуха также приходит в правильное колебательное движение. Сгущение, возникающее в тот момент, когда струя направляется внутрь трубы, достигает ее открытого конца, получает здесь возможность свободно расшириться и потому производит разрежение, которое высасывает воздух из трубы. Это высасывание доходит через трубу до струи, которая раньше была направлена наружу, и втягивает теперь ее внутрь. Так возникает звук, время колебания которого равно времени, необходимому, чтобы волна дважды пробежала длину трубы (раз туда и раз обратно). Число колебаний этого тона, следовательно, должно быть вдвое больше, чем в случае закрытой трубы. — И здесь более сильное вдувание воздуха также может произвести более высокие тоны.

Рис. 339

362. Гельмгольц подробно исследовал, какие именно высокие тоны усиливаются трубами различной формы, и ему удалось найти форму, усиливающую лишь один определенный тонъ. Этими „резонаторами“ Гельмгольц широко воспользовался для того, чтобы установить присутствие или отсутствия какого-нибудь определенного тона. Он следовал при этом по пути, намеченному опытом. Органная труба, ширина которой очень велика по сравнению с ее длиной, лишь с большим трудом дает какие-нибудь тоны кроме основного. Такого рода трубы усиливают только тот тонъ, длина волны которого равна учетверенной длине трубы.

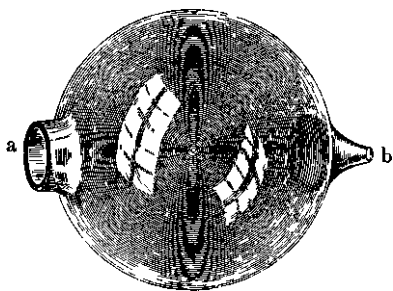
Гельмгольц нашел, что свойством усиливать только один определенный тон в еще большей степени обладают шары, диаметр которых равен четверти длины волны соответствующего тона. На стороне, противоположной входному отверстию, шар переходит в узкую открытую трубку, конец которой окружается полумягким шеллаком и вставляется в ухо, так что звуки могут достигать уха только пройдя через шаръ. В другое ухо вставляется резонатор такой же величины или же оно закрывается размягченным шеллакомъ. Тогда слушатель является как бы глухим ко всем звукам за исключением того, который усиливается резонаторомъ. В самом безпорядочномъ шуме или в музыкальной пьесе Органная труба и свистокъ слышится один этот тонъ. При помощи этихъ

резонаторов Гельмгольца произвел ряд важных исследований различных источников звука и особенно исследований человеческого голоса.

363. Закрытые органнй трубы и камертоны, последние особенно тогда, когда они помещены перед служащими резонатором трубами (§ 360), дают очень простой, не сильный, но приятный, хотя и немного глухой тонъ.

Струны, напротив того, кроме основного тона легко издают целый ряд высших тонов или обертоновъ, вследствие чего тон приобретает большую звучность. Появление тех или других тонов обуславливается выбором места струны,

Рис. 340 в котором ее заставляют колебаться. Если



делать это посредине, то исчезают „четные" обертоны, т. е. такие, число колебаний которых вдвое, вчетверо и т. д. больше числа колебаний основного тона; от этого звук становится глухимъ. С другой стороны, присутствие довольно высоких „нечетных" обертонов делает его скрипучимъ. Поэтому въ музыке стараются, чтобы получалось много первых обертонов (с числом колебаний в два — шесть раз больше числа колебаний

Резонаторъ Гельмгольца. основного тона) и избегают обертоновъ, число колебаний которых в семь раз больше числа колебаний основного тона. Струны пианино ударяются поэтому вообще в точке, отстоящей от конца на $\frac{1}{7}$ Длины.

Характер струнного звука или его тембръ, обусловленный числом обертоновъ, зависит также от способа, каким струна приводится в колебание, — будут ли ее дергать мягкие пальцы, или будет по ней ударять металлический штифт или молотокъ. Устройство молотка и продолжительность удара также должны приниматься во внимание фабрикантом инструментов и музыкантомъ.

Присутствие очень высоких обертонов делает тоны хриплыми и дребезжащими. Несмотря на это в больших оркестрах с их помощью (треугольникъ, литавры) достигают хороших результатов в надлежащих местахъ. Высокие обертоны дают также металлические трубы, гармоника и другие инструменты, состоящие въ большей или меньшей степени из металла.

364. Еще задолго до того, как стало известно что-либо о числе колебаний тонов (§ 335), опыт научил человека, какие тоны производить, звуча одновременно или один за другимъ, приятное впечатление. Когда стали известны числа колебаний, оказалось, что благозвучность двух тонов обуславливается темъ, что числа их колебаний находятся в простом отношении друг к другу. Чем проще это отношение, тем созвучие совершеннее. Если исключить „унисонъ", то приятные для слуха „интервалы", в порядке их благозвучности, представятся следующей таблицей. Числа показывают отношение числа колебаний основного тона и указанного:

Октава 1 : 2

Дуодецима 1 : 3

Квинта 2 : 3

Кварта 3 : 4

-, Большая секста 3 : 5
 Большая терция 4 : 5
 Малая терция 5 : 6

Каждая пара этих тонов имеет один или несколько общих обертонов, которые тем выше, чем меньше интервал между обоими тонами. Если число колебаний основного тона обозначить через T_1 , число колебаний его обертонов через $\Gamma_2, T_3, \dots$, число колебаний другого тона взятого интервала и его обертонов соответственно через $\iota_1, \wedge_2, \wedge_3, \dots$, то для основного тона T_1 с 300 колебаний получается следующая таблица.

	300	600	900	1200	1500	1800
Основной тон (300)	T_1	T_1	m	m	T_5	m^*
Октава (600)	—'	>	—	—	—	—
Дуодесима (900)	—	—	'И	—	—	—
Квинта (450)	—	—	>>	—	—	—
Кварта (400)	—	—	—	* \	—	—
Большая секста (500)	—	—	—	—	—	—
Большая терция (375)	—	—	—	—	—	—
Малая терция (360)	—	—	—	—	—	>,

Чем благозвучнее интервалъ, тем ближе, как видно из приведенной таблицы, лежат тоны или обертоны, совпадающие с обертонами основного тона.

Если указанные тоны производятся струной или подобными ей источниками звука, дающими обертоны до $\wedge_6$, то для упомянутых благозвучных интерваловъ всегда существует пара первых или следующих за ними обертоновъ, которые совпадают друг с другомъ. Этим усиливается гармония взятых двух тонов и облегчается переход от одного к другому, так как всегда существует пара тоновъ, звучащих совершенно одинаково.

365. На существовании общих обертонов в двух тонахъ, дающих благозвучный аккордъ, в XVIII веке строилось учение о гармонии. Главным представителем ея был знаменитый французский музыкант и композитор Ж. Ф. Рамо (1683—1764). Но это объяснение предполагает, что оба тона сопровождаются всеми своими ближайшими обертонами. Оно поэтому было недостаточно для тоновъ, обладающих небольшим числом обертонов или неимеющих их вовсе. Источники звука, издающие лишь подобные тоны, значительно менее пригодны для музыкальных целей, потому что в них отсутствуют обертоны, служащие связующимъ звеном между двумя следующими друг за другом тонами. Именно поэтому и могут возникать дисгармонии, как при совпадении двух тоновъ, так и при следовании их одного за другимъ.

Гельмгольц дал этому другое объяснение. Чем дальше два тона друг от друга, темъ быстрее следуют толчки или биения один за другим (§ 338). Это придает тонам неприятный звук и неприятное ощущение бывает сильнее всего, когда число биений для тонов средней высоты доходит приблизительно до 33 в секунду. Для более низких тонов число это несколько меньше, для более высоких несколько больше. Если увеличить число биений, то неприятное ощущение

уменьшается и при 132 биениях для тонов средней высоты оно совершенно исчезает. Таким образом, Гельмгольц нашел некоторое мерило для диссонанса двух тонов и приложил его к различным благозвучным интервалам, которые раньше считались более или менее дисгармоничными.

При помощи своих резонаторов Гельмгольц нашел, что биения могут давать не только два основных тона, когда они настроены не вполне в унисон, но и какая-нибудь пара обертонов, которые он при помощи резонаторов умел теперь ОТДБИТЬ от основных тонов и остальных обертонов. Эти биения тем быстрее следуют один за другим, конечно, чем обертоны дальше друг от друга. Далее, тон Тартини, производимый обоими тонами, может давать с одним из них биения. Если между двумя основными тонами, их обертонами и тонами Тартини попадутся два таких тона, которые дают 33 биения в секунду, то звук станет в высшей степени неприятным. Меньшее или большее число биений, если оно не превосходит 132, дают диссонанс. Из сопоставления благозвучных интервалов (стр. 349) видно, что октава, дуодецима и все их обертоны лежат к основному тону и его обертонам не ближе, чем на 300 колебаний. Для тонов Тартини числа будут 300 и 600. Квинта с ее обертонами и тонами Тартини также не дает интервала меньше 150; таким образом, и эти интервалы не дают никакого диссонанса. Поэтому они уже давно получили название „абсолютно благозвучных“ (абсолютный консонанс). Кварта и ее обертоны и тоны Тартини (100) не дают с основным тоном и его обертонами меньше 100 биений, например, 300 и 400 или 900 ($7''_2$) и 800 (Y_2). Но это почти не ощущается, так что кварта еще считается „абсолютным консонансом“. В менее благоприятных условиях находятся низкие тоны. Если, например, число колебаний тона составляет 150, а следовательно, число колебаний его кварты 200, то число биений в секунду будет равно 50. Для этих тонов уже квинта кажется слегка неприятной. Ее поэтому часто называют не „абсолютным“, а только „совершенным консонансом“.

Большая секста также обуславливает тоны со 100 биениями. Но при высоте тона в 500—600 колебаний такой тон дает заметный диссонанс. Поэтому большую сексту, а также большую терцию, дающую 75 биений, называют „средним консонансом“.

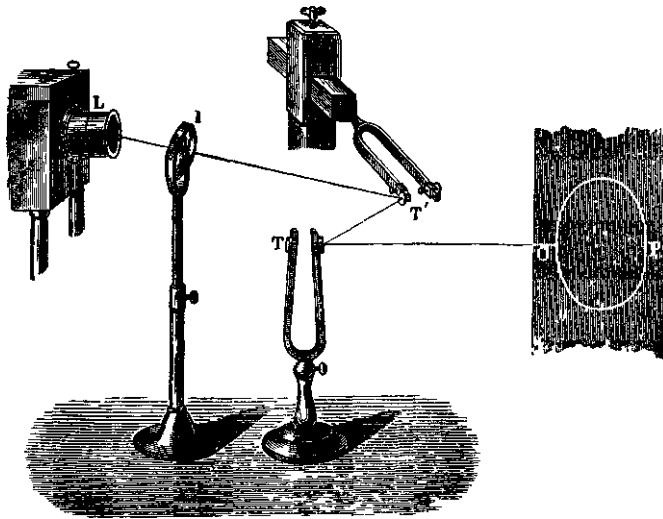
Малая терция дает с основным тоном и с несколькими обертонами 60 биений и поэтому называется „несовершенным консонансом“.

Для того чтобы три тона давали приятное сочетание, каждая пара их должна представлять благозвучный интервал. Таким образом, числа колебаний 300, 400 и 500 образуют благозвучный аккорд, потому что 300 и 400 колебаний дают кварту, 400 и 500 — большую терцию, а 300 и 500 большую сексту. Септимы теперь уже не употребляются в музыке, так как не удовлетворяют этому условию. Сами по себе два тона, числа колебаний которых относятся как 4:7, дают консонанс, но ни один из них не дает консонанса с благозвучными интервалами другого. Октава более низкого из них, например, дает диссонанс с высоким тоном пары. — Менее благозвучной, чем септима, является малая секста; числа колебаний тонов этого интервала относятся между собою, как 5:8. Ею тем не менее пользуются, так как каждый из ее тонов дает консонанс с обертонами другого

366. Французскому физiku Лиссажу удалось в 1863 году получить очень красивыя световыя явления при помощи камертоновъ, дающихъ благозвучные интервалы.

Ножки двухъ камертоновъ на внешней стороне имеютъ по маленькому зеркальцу. Одинъ изъ камертоновъ T' (рис. 341) колеблется в горизонтальной плоскости, другой, T —в вертикальной. Яркий лучъ света из фонаря L проходитъ черезъ линзу J , падаетъ на зеркальце камертона T' , отражается имъ, падаетъ на зеркальце

Рис. 341



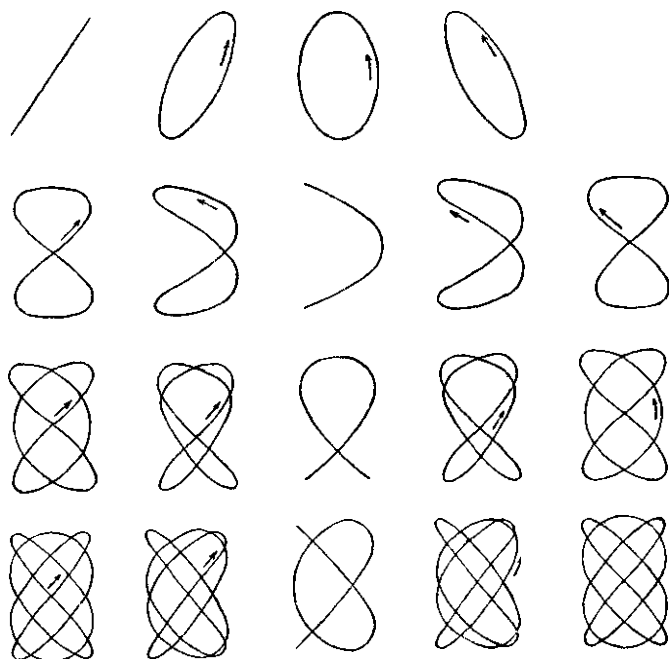
Колеблющиеся камертоны Лиссаж>.

камериона T и после вторичного отражения попадаетъ на экран OP . Зеркала отшлифованы такъ, что световой лучъ даетъ на экране резко очерченное светлое пятно. Если приведемъ въ движение только T' , то лучъ $T'J$, а за нимъ и лучъ TO , колеблется взад и впередъ, такъ что и светлое пятно на экране перемещается по горизонтальной линiи между O и P . При колебании одного только второго камертона, свѣтлое пятно движется вверх и вниз по вертикальной линiи. При колебании обоихъ камертоновъ пятно совершаетъ оба движения одновременно. Форма кривой, описываемой светлымъ пятномъ на экране, зависитъ отъ отношенiя чиселъ колебаний взятыхъ камертоновъ.

Если оба тона звучатъ в унисонъ, то наблюдается одна изъ верхнихъ пяти фигуръ (рис. 342). Когда ножки обоихъ камертоновъ наиболее отклонены отъ своихъ положенiй равновесiя, световое пятно занимаетъ одновременно самое низшее и самое левое положенiе. Затемъ световое пятно движется одновременно вправо и вверх и описываетъ прямую линiю, изображенную на первой изъ пяти фигуръ. Достигнувъ верхней точки справа, пятно движется по той же прямой налево внизъ. Если же камертонъ T' опережаетъ камертонъ T на четверть времени колебания, то световое пятно занимаетъ самое низкое место по средине между крайними левымъ и правымъ положенiями и описываетъ среднюю изъ упомянутыхъ выше пяти фигуръ. Изъ этого положенiя „посредине внизу“ пятно переходитъ направо вверх и дости-

гает крайнего положения справа на середине своего пути вверх. Продолжая затемъ подыматься, оно повертывает налево и доходит до середины наверху, далее, продолжая двигаться влево, оно опускается и на половине своего пути вниз достигает крайнего левого положения, наконецъ, продолжая опускаться, оно направляется вправо и возвращается к исходному пункту и т. д. — Если один камертон опережает другой на половину времени колебанш, т. е. если ножки камертона T' бывают ближе всего друг к другу, когда ножки камертона T больше всего удалены одна от другой, то, как легко убедиться, получается последняя из пяти верхних фигуръ

Рис 342



Фигуры Лиссажу

Наконецъ, если указанная разница составляет $\frac{1}{2}$ или $\frac{3}{8}$ времени колебанш, то получается вторая или четвертая фигура, являющаяся промежуточной между первой и третьей или третьей и пятой фигурами

Если камертоны издают не вполне одинаковый тон и сначала дают первую фигуру, то затем один камертон все более и более опережает другой и одна фигура постепенно переходит в следующую. Таким путем можно открывать самые незначительныя разницы в продолжительности колебаний камертоновъ

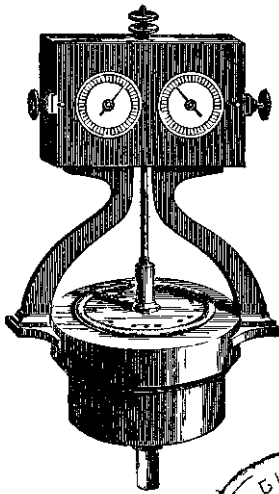
Если камертон T' колеблется вдвое быстрее T , т. е. издает Ион октавой выше, то получается одна из пяти фигур второй группы. И в этом случае фигуры переходят одна в другую, если камертоны издают не вполне одинаковые тоны. Третья и четвертая группы рисунка возникают тогда, когда камертоны дают основной тон и квинту и основной тон и кварту. Если пройти, например, по первой фигуре кварты слева вниз по направлению, указанному стрелкой, до возвращения к исходной точке, то легко заметить, что движение идет четыре раза направо и четыре раза налево, но только три раза вверх и три раза вниз, такъ

как камертон T' делает четыре колебания в то время, как камертон T делает их только три. Нечто подобное имеет место и для всех других фигурь.

367 Числа колебаний тонов определяются различным образом. Важнейший метод заключается в следующем механическом путем: движение струи воздуха прерывается через определенные промежутки времени так, что в секунду воздух получает определенное число толчков. Английский физик Робисон до стиг этой цели при помощи особого крана, а Зеебек тем, что дуваемый через трубу воздух попадал на быстро вращающийся картонный кружок с отверстиями, расположенными по окружности. Струя воздуха проходила через каждое из этих отверстий, когда оно приходилось против трубы.

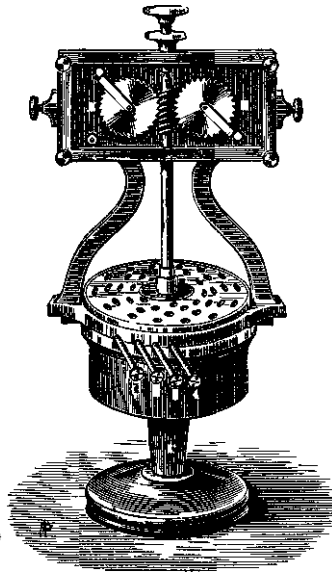
Эти опыты удаются лучше всего при помощи сирены (рис 343), впервые построенной Каньяр Делатуром и усовершенствованной впоследствии Дове, Гельмгольцем и др. Горизонтальная круглая пластинка, укрепленная на вертикальной оси, снабжена отверстиями, расположенными по окружности на равных расстояниях.

Рис 343

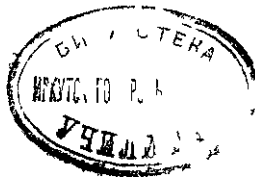


Сирена

Рис 344



Сложная аккордная сирена



друг от друга. Эти отверстия при вращении пластинки проходят над соответствующим рядом отверстий в крышке цилиндрической коробки, в которую при помощи мехов дувается воздух. Когда отверстия в пластинке приходятся как раз против отверстий в крышке, воздух устремляется через них. Если же отверстия пластинки приходятся над промежутками между отверстиями в крышке, то движение воздуха прерывается.

Отверстия в пластинке и в крышке пробуровлены наискось в противоположных друг другу направлениях. Вследствие этого выходящий воздух давит на стенки отверстий подвижной пластинки и тем приводит ее во вращение. Нет необходимости, поэтому, в особом механизме для вращения пластинки. Она приво-

дится в движение воздушной струей, и если последняя идет равномерно, то быстрота вращения, а вследствие этого и высота тона почти не меняются. На верхней части оси находится „бесконечный винт", соединенный с счетчиком. Число колебаний^ получаемого тона равно произведению числа отверстий на число оборотов.

368. Высота тона, производимого свистком, зависит от длины его трубки. Основной тон закрытой трубки составляет октаву с основным тоном открытой одинаковой с нею длины.

В язычковых трубах находится упругий язычек, колебания которого попеременно то открывают, то закрывают отверстие для воздуха. Этому язычку можно придать такую форму, что он или часть его могут колебаться с различной быстротой. Для этого он должен быть мягким. В таком случае он легко при-

Рис. 345

Рис. 346

Дудка (с язычком) из соломинки.

способляется сам соответственно длине трубы, с которой соединяется и в которой воздух может колебаться только согласно указанному в § 360. Однако, язычок подбирают обыкновенно таким образом, что его нормальное время колебания приблизительно совпадает с временем колебания, обусловленным длиной трубы. Тогда получаемый тон бывает и наиболее сильный и наиболее чистый. Иногда устраивают из проволоки особую задержку (рис. 345), передвижением которой можно отделить определенную часть языка. На рис. 345 видно внутреннее устройство язычковой трубы. Воздух вдвигается в нижнюю часть трубы и выходит из нее толчками через прорезь, в котором колеблется язычок; отсюда воздух направляется в трубу, которая определяет высоту тона и заканчивается воронкообразным придатком. Прежде были в ходу так называемые „захлопывающие" язычки, которые при каждом колебании ложились на края отверстия и совершенно закрывали его, между тем как в настоящее время более употребительны язычки, свободно колеблющиеся в прорезе, не закрывая его всецело.

В инструментах без трубы, как, например, в гармонике, высота тона зависит исключительно от языка, вследствие чего он должен быть подобран так, чтобы издавать соответствующий тон.

Язычковая труба.

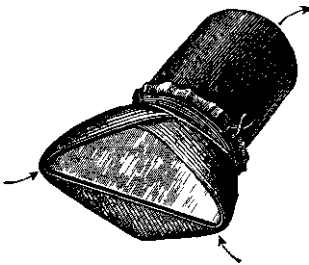
В поле можно приготовить язычковые трубы из различных растений, например, из стебля злаков; для этого нужно отрезать кусок соломинки приблизительно в 20 сантиметров длиной, закрытый с одного конца узлом стебля; возле узла, по направлению к нему, делают надрез и таким образом получают отверстие в 2 — 3 см с соответствующим язычком. При вдвигании в трубку получается тон, определяемый длиной трубки.

Если срезать часть Ирубки у открытого конца, то тон повышается—доказательство того, что высота тона определяется длиной трубки. Если трубку из ивовой коры или из свежего стебелька злака защемить на одном конце, взять ущемленный конец в рот и дуть в эту трубку, то получится тонъ, высота которого обуславливается главным образом длиною трубки.

В трубах последнего рода язычок заменяется двумя пластинками или перепонками, но их также причисляют к язычковым трубамъ. Сюда принадлежат также свистки с щелью, устройство которых представлено на рис. 347. Трубка на конце срезывается наискось с двух сторонъ, так что поверхности среза образуют приблизительно прямой уголъ. Сверху натягивают две резиновые полоски такъ, чтобы они образовали узкую щель. Концы их обматывают вокруг трубы и завязывают ниткой.

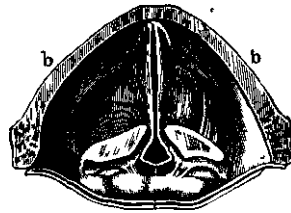
369. Только что описанный прибор имеет некоторое сходство с голосовыми органами человеческого горла (рис. 348). Существенную часть этих органовъ составляют две эластическая связки, называемыя голосовыми, которыя натягиваются

РИС. 347



Свисток с щелью Гельмгольца.

Рис. 348



Поперечный разрез глотки.

особыми мускулами; отверстие горла закрывается ими такъ, что остается лишь небольшой просветъ, носящий название голосовой щели. Связки натягиваются лишь въ том случае, когда мы издаем звуки или делаем глубокое вдыхание. В остальных случаях они остаются ненапрянутыми и спокойное дыхание происходит безъ заметного шума.

Но при пении какого-нибудь тона голосовыя связки напрягаются и воздухъ выгоняется через голосовую щель. Голосовыя связки колеблются тогда с определенной скоростью, зависящей от степени их натяжения. От удлинения трубки, образуемой глоткой и полостью рта, она зависит очень мало. Стенки глотки слишкомъ мягки для того, чтобы заставить голосовыя связки приспособиться ко времени колебания, определяемому ими. С другой стороны, напряжение голосовыхъ связокъ, а следовательно, и высота тона в известных границах остаются в нашей власти. Границы эти для разныхъ лицъ различны. У человека, обладающаго басомъ, число колебаний в секунду может падать до 81, в исключительных случаяхъ—даже до 44. Женское сопрано может достигнуть высоты в 1381 колебание в секунду. Известен даже случай, когда число колебаний достигало 2069. При крике возможны, конечно, еще более высокіе тоны.

Чтобы издавать определенные тоны, требуется не только знание этих тоновъ,

НО и известное умение управлять голосовыми связками. В этом отношении большую роль играет, конечно, упражнение. Красота звука в значительной мере зависит также от устройства голосовых связок и от того, как они колеблются. Это можно наблюдать при помощи особого горлового зеркала. Найдено, например, что мягкий звучный тон получается при гладких по краям, хорошо закрывающихся голосовых связках, а резкий звук вызывается негладкими связками, соприкасающимися в нескольких местах друг с другом, и что частичка слизи в состоянии лишить голос его звучности; переполненные кровью и раздраженные голосовые связки дают более низкий тонъ.

Изобретателем вышеупомянутого зеркала является известный Мануэль Гарсиа (род. в 1805 г. в Мадриде), бывший учителем пения в Париже и в Лондоне; он построил свой метод преподавания на физиологических данныхъ.

Напряжение голосовых связок обыкновенно зависит от нашей воли, НО иногда оно может определяться непосредственно нашими настроениями. Радость и печаль выражаются в тоне голоса, точно так же, как мужество и боязнь, восхищение или презрение. Эта связь настроения с звуками голоса играет важную роль в музыкальном творчестве и ВО влиянии музыки, как это в новейшее время было выяснено Спенсеромъ.

370. В ТО время как голосовые связки дают тонъ, образование звуковъ, соответствующих различным буквамъ, слогов и слов принадлежить, очевидно, рту.

Законы образования этих звуков были исследованы в новейшее время частью опытным путемъ, частью теоретически многими учеными, какъ, например, Кратценштейномъ, который в 1796 году получил от Петербургской Академии премию за устройство говорящей машины. Этим вопросом занимался также знаменитый голландский физиолог и глазной врач Франс Корнелис Дондерс (1818—1889), который известен своей теорией очков и ея приложением к астигматическим глазамъ. Из других исследователей в этой области следует упомянуть англичан Виллиса и Витстона и австрийца ф. Кемпелена, который также построил говорящую машину. Когда Гельмгольц занялся этим вопросомъ, существовал уже целый ряд ценных работ о природе букв и даже попыток искусственно воспроизвести соответствующие им звуки. Работы Гельмгольца дают прекрасное и полное объяснение физической природы человеческого голоса, основанное частью на прежнихъ, частью на его собственных исследованияхъ. Гельмгольц имел для своих работ прекрасное пособие в изобретенных им резонаторахъ; а где последние оказывались недостаточными, он умел помочь себѣ различными остроумными приемами.

371. Как показали исследования природы гласных звуковъ, их звук обуславливается темъ, что издаваемый голосовыми связками тон сопровождается теми или другими обертонами. Еслибы представить гласные звуки графически, то получилась бы большая волнообразная линия с мелкими завитками на ней. Гельмгольц нашелъ, что оттенки звука различных гласных определяются следующими обертонами. Он различал глухое краткое *й* и открытое *и* (русское *у*¹)-

*) Приведенныя в этом и в следующих параграфах исследования Гельмгольца относились, конечно, к гласным Звукам немецкого языка, *Пргим. пер.*

Глухое *й* обуславливается обертоном / с 176 колебаниями,
 открытое *и* (*y*) „ „ /И » 352
о „ „ „ ^1 „ 475
а „ „ „ #2 „ 950

J 594

{1584

{/1 | 352

\B_T " (И900

I/ I 176

(^4 " (2374

б 352

"1100

Д | 352

" 11584

Таким образомъ, *и*, *о* и *а* обуславливаются одним обертономъ, остальные же —двумя, иногда очень высокими тонами.

372. Гельмгольцъ объясняет даже, каким образом получаются эти более высокие тоны.

Стенки полости рта слишком мягки, чтобы заставить голосовыя связки издавать тонъ, соответствующий размерам и форме полости рта. Высота тона в гораздо большей степени определяется напряжением связокъ, но части связок могут колебаться с быстротой, зависящей от длины трубки (полости рта). При произнесении звуков *и*, *о* и *а* рот образует одну полость, так как язык вообще прижимается книзу. При *и* рот спереди плотно закрыть, при *о* несколько открыть на подобие трубки, при *а* он открывается еще больше, принимая форму воронки. Закрытая трубка дает самый низкий тон для *и* (ср. § 361), более открытая обуславливает более высокие тоны *о* и *а*.

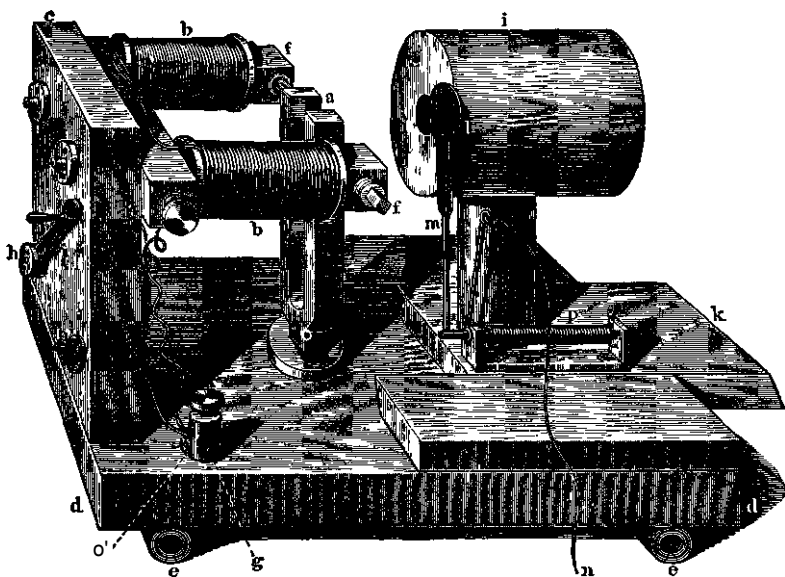
При остальных гласных *а*, *е*, *и*, *б* и *й* язык несколько прижимается къ нёбу. Вследствие этого получается трубка в задней части рта, а также более или менее закрытая полость между языком и губами. Участие языка в произнесении этих звуков нетрудно обнаружить: легко, напримеръ, убедиться в томъ, что при произнесении *а* и *й* язык сохраняет одно и то же положение (1584 колебания), тогда как губы для *а* открываются больше (594 колебания), чем для *й* (352 колебания). Наиболее высокий тон мы издаем при произнесении /. Если попробовать произнести этот звук шопотомъ, то получается ясное впечатление звука свистка (2374 колебания), который образуется в маленькой трубке между языком и нёбомъ. Если произнести шопотомъ *й*, то получается другой, более низкий тон свистка (1584 колебания).

373. Наконец Гельмгольцу удалось при помощи чисто физических средствъ получить вполне ясные гласные звуки. Несколько камертоновъ с числами колебаний, соответствующими указаннымъ в § 371 тонамъ, приводились в колебание электрическим токомъ подобно электрическому звонку. Перед каждым камерто-

ном находился резонатор с клапаном перед отверстиемъ, которое можно было по желанію увеличивать или уменьшать, так что тонъ, неслышный без резонатора, усиливался в большей или меньшей степени.

При помощи этого прибора Гельмгольцу удалось, правильным употреблением клапановъ, получить все гласныя за исключеніемъ *е* и *и*, содержащихъ более высокіе тоны, чемъ те, которые могли быть получены камертонами этого прибора. Дело в томъ, что в этомъ приборе нельзя брать камертоны какого угодно высокаго тона, так как иначе замыканія тока не будутъ происходить достаточно хорошо.

Рис. 349



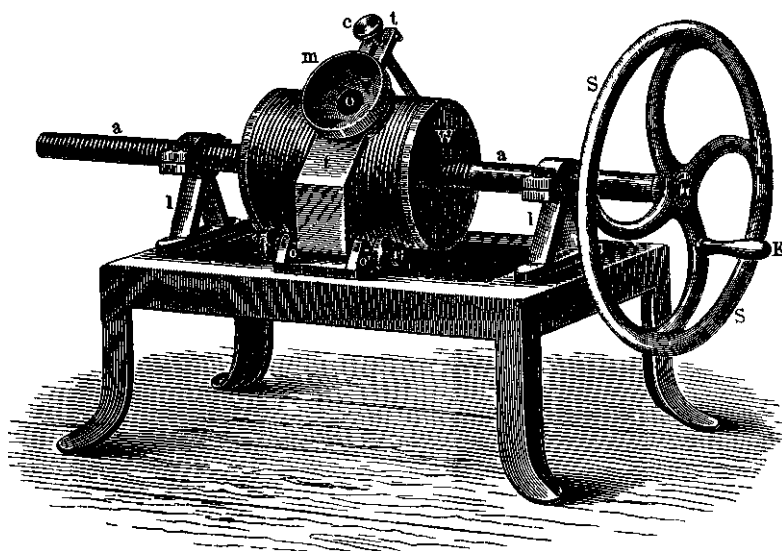
Прибор с камертонами для получения гласныхъ (Гельмгольцъ).

374. В то время как гласные звуки можно представлять в форме волны, производимой голосовыми связками, с завитками на ней, обусловленными формою полости рта,—согласныя представляются, вообще говоря, одной или несколькими неправильными волнами, предшествующими или заканчивающими волнообразную линию гласныхъ. Гласный звук можно тянуть в течение продолжительнаго времени, согласный, напротивъ того, длится, вообще говоря, лишь одно мгновение. Чаще всего онъ обуславливается темъ, какъ открывается ротъ передъ гласной или какъ онъ закрывается после нея. Открывать полость рта можно различнымъ образомъ, напримеръ, губами (*б*, *п*, *М*) или нижней губой и верхними передними зубами (*ф*, *в*), или концомъ языка и теми же зубами (*м*, *д*) или языкомъ и передней или задней частью нёба (*и*, *л*, *з*). Иногда при этомъ имеютъ значеніе и другія обстоятельства. Такъ, *м* и *н* требуютъ также резонанса в носовой полости, сообщающейся сзади с полостью рта. Этотъ резонанс можно тянуть более продолжительное время, какъ гласную. То же относится и къ некоторымъ другимъ звукамъ, которые у насъ обыкновенно называются согласными, но в другихъ языкахъ, какъ, напримеръ, в санскритскомъ, считаются свистящими гласными (*с*). Совершенно особое место занимаетъ звукъ *р*. Онъ не на-

чинает и не заканчивает собой волны гласного звука, а служит как бы для разрыва гласной. Язык вибрирует у нёба и каждый разъ, когда он удаляется от нёба, становится возможным образование части гласной.

375. Подражать человеческому голосу можно также при помощи органных трубокъ. Прежнія говорящія машины состояли главным образом из известного числа Иаких трубокъ, подобранных таким же образомъ, как камертоны в приборе Гельмгольца. Воздух вдвухался в эти трубки, как в органе, при помощи меховъ, причем он направлялся въ ту или другую трубку при посредстве особой клавиатуры. Струя воздуха выходила через отверстия, снабженныя кожаными клапанами и другими приспособлениями. Звук *p* воспроизводился при помощи колесика, которое жужжало в искусственной ротовой полости и разделяло на части рядъ волнъ, образуемых гласной. Этот способ подражания человеческому голосу представлял интерес в том отношении, что он давал наглядное доказательство правильности понимания природы речи. Получаемые при помощи указанных приемовъ звуки речи были, однако, очень несовершенны, а именно, чрезвычайно монотонны.

Рис. 350



Фонографъ Эдисона.

В них совершенно отсутствовали вариации основного тона, всегда присущія человеческой речи и проявляющіяся тем сильнѣе, чемъ больше душевное настроеніе влияетъ на речь.

376. Совершенно другого рода говорящую машину представляет собой фонографъ, изобретенный Эдисономъ в 1877 г. Онъ воспринимаетъ человеческій голосъ, музыку и другіе звуки и затемъ снова воспроизводитъ ихъ, когда угодно.

Рис. 350 изображаетъ фонографъ в его первоначальной формѣ. Звуки даются въ него черезъ отверстие *o* в короткую трубу, закрытую на другомъ концѣ тонкой упругой пластинкой. В срединѣ ея находится маленькій металлическій штифтъ, направленный остриемъ къ стальному валику *W* съ спиральнымъ желобкомъ. Валикъ покрывается

листом оловянной фольги. Приемник *m* должен быть установлен такъ, чтобы штифт над желобком слабо давил на оловянный листъ. Вращаясь, валик подвигается вместе с тем по направлению оси такъ, что металлический штифт все время остается над желобкомъ. Если во время вращения говорить в отверстие *m*, то упругая пластинка приходит в колебательное движение и металлический штифт производит на олове соответствующия углубления. Затем приемник *m* удаляют и валикъ приводят в первоначальное положение. Если поместить приемник *m* на прежнее место и привести во вращение валикъ, то штифт снова попадает в углубления оловянного листа, вследствие чего упругая пластинка повторяет прежнія колебания, которыя во время первого движения были вызваны звуковыми волнами. Поэтому в воздухе возникают те же волны, т. е. колеблющаяся пластинка воспроизводит звуки, послужившие причиной ея первоначальных колебаний.

Эдисон впоследствии значительно усовершенствовал свой фонографъ. Листъ оловянной фольги воспринимает и воспроизводит лишь самыя грубыя составныя части звука. Звуковыя движения гораздо лучше воспринимаются и повторяются валикомъ из твердаго воска. Вращение, которое должно быть, разумеется, чрезвычайно равномерным и которое должно происходить одинаково быстро при получении и при воспроизведении звука, производится маленьким электромоторомъ. С увеличениемъ скорости вращения отдельные тоны, какъ, напримеръ, произносимыя слова, не только следуютъ быстрее друг за другомъ, но и становятся вместе с тем выше.

377. Человеческое ухо в существенныхъ чертахъ есть чисто механический аппаратъ, снабженный, разумеется, нервами для восприятия движений, которыя при помощи механическихъ частей передаются от воздушныхъ волн на слуховой нервъ. Но изъ всехъ существующихъ механическихъ аппаратовъ ухо организовано, безъ сомнѣнія, наиболее тонко. Небольшого количества энергии, которое мы называемъ фунтофутонъ (приблизительно $\frac{1}{6}$ килограмметра), было бы достаточно, чтобы производить ощутимыя для уха звуки в течение свыше 3000 лѣтъ.

При помощи уха мы не только узнаемъ о существовании звуковыхъ волнъ, но и получаемъ свѣдѣнія о строении этихъ волнъ, т. е. мы получаемъ различныя впечатлѣнія отъ волнъ различного рода. Что касается собственно музыкальныхъ тоновъ, то ухо воспринимаетъ тоны от 16 до 40000 колебаний в секунду приблизительно. Нижний предѣль, впрочемъ, зависитъ до некоторой степени от силы тона и отъ способа, которымъ онъ получается. Верхняя граница у различныхъ людей различна. Все тоны в этихъ предѣлахъ различаются легко и только вблизи верхняго предѣла тоны различаются не с такой уверенностью. В музыкѣ пользуются вообще только Ионами с колебаниями от 40 до 4000, т. е. приблизительно семью октавами.

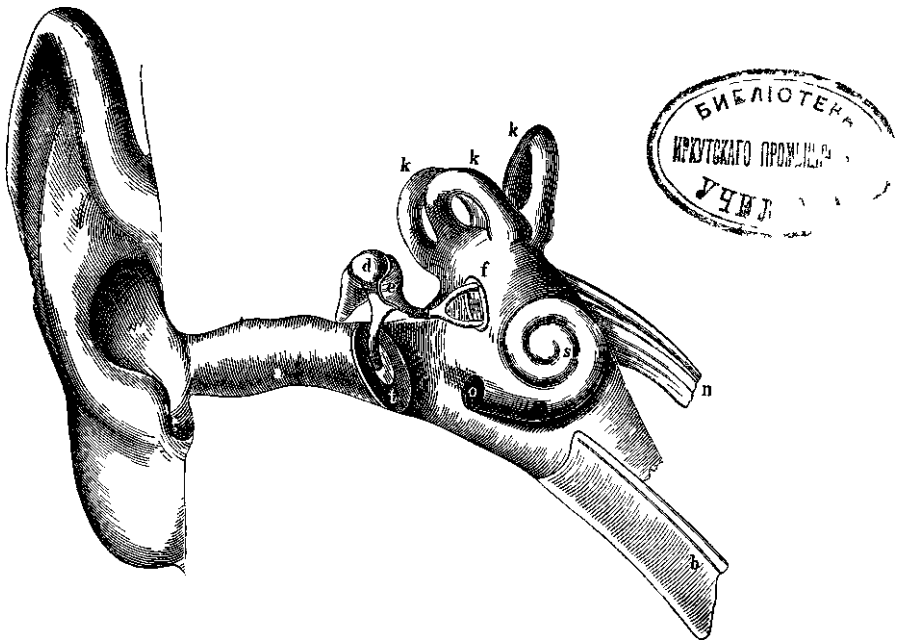
Ухо в состояннн также различать форму отдельныхъ волнъ, т. е. тембръ или оттенокъ различныхъ тоновъ. Больше того—ухо способно воспринимать одновременно целый рядъ волнъ и разлагать комплексъ этихъ волнъ на отдѣльныя составныя части.

Этотъ удивительный механический инструментъ послужилъ, разумеется, предметомъ тщательнаго изслѣдованія анатомовъ и физиковъ. Изъ результатовъ этого изученія отметимъ важнѣйшiе. Ушная раковина собираетъ звуковыя волны, которыя черезъ слуховой проходъ *a* доходятъ до барабанной перепонки (рис. 351, *t*). Барабанная перепонка отдѣляетъ наружное ухо отъ барабанной полости, также наполненной воздухомъ; в ней находятся три маленькiя косточки: молоточекъ, наковальня и

стремя. При помощи Евстахиевой трубы барабанная полость сообщается с глоткой. Эти трубы впервые были описаны итальянским врачом и анатомом Бартоломео Евстахием (ум. в 1574 г.). Евстахиева труба при глотании или зевании открывается и способствует тому, что воздух барабанной полости всегда находится в том же давлении, что и внешний воздух. Это необходимо, потому что иначе каждое изменение внешнего давления влекло бы за собой напряжение барабанной перепонки. Внезапное изменение давления воздуха вызывает шум в ушах, который, однако, исчезает, если проглотить немного слюны.

Три упомянуты косточки представляют соединение между барабанной перепонкой и кожей, закрывающей „овальное окно“, по отношению к которому стремя играет роль поршня. Так как внутреннее ухо, в которое ведет овальное окно,

Рис. 351



Орган слуха.

наполнено жидкостью, то давление в этом месте должно быть велико. Упомянуты механические соединительные части устроены поэтому таким образом, что движение на протяжении от барабанной перепонки до окна уменьшается до V_{20} приблизительно, и сила, согласно началу возможных перемещений (§ 134), увеличивается в соответственной степени. Кожица, закрывающая овальное окно, представляет по величине $V_{15}—V_{20}$ барабанной перепонки. Своеобразная форма барабанной перепонки также играет существенную роль при этом преобразовании движения и давления. Поверхность ее не совершенно плоская, но образует по направлению внутрь воронкообразное углубление, ручка молоточка касается ее посередине. Боковые линии этой воронки несколько выгнуты наружу. Гельмгольц указывает, что звуковая волна может значительно изменять кривизну этих боковых линий, не смещая заметно

концовъ, подобно тому, как концы лука сближаются сравнительно лишь очень мало, если оттягивать тетиву от лука. Вследствие этого значительное движение звуковой волны переходит в более слабое в месте прикрепления молоточка, а давление и натяжение усиливаются в той же степени.

Внутреннее ухо, которое должно воспринимать и различать эти слабыя движения, конечно, должно быть хорошо защищено от влияния посторонних сотрясений. Поэтому оно окружено очень крепкими костями. Наполненное жидкостью пространство, лабиринтъ, состоит из трех отделений: преддверия, дуговых ходов или полукружных каналов и улитки. Последняя начинается затянутым кожицей отверстиемъ, называемым круглым окном (о). Еслибы этого окна не существовало, то стремя не могло бы привести в колебание кожицу овального окна, так как стенки лабиринта, за исключением обоихъ оконъ, состоят из костей. Звуковые волны распространяются по жидкости от овального окна к круглому и действуют на расположенные здесь органы.

К последнимъ относятся тонкия разветвления слухового нерва в преддверии, маленькия известковыя частички (отолиты, слуховой песокъ) и тонкия волоски, расположенные в полукружных каналахъ, которые, без сомнения, при известных колебанияхъ приходят в движение, так как они находятся в связи с нервными волокнами. Предполагаютъ, что роль отолитовъ состоит в следующемъ: они обладаютъ ббльшей массой, чем слуховые волоски, и поэтому не могут быть приведены столь же быстро в движение, но зато сохраняют его более продолжительное время, тогда как слуховыя волокна, обладая меньшей массой, легче приходят въ колебание, но и быстрее останавливаются, вследствие чего они всегда готовы к восприятию новаго движения.

Наиболее замечательнымъ органомъ является, безспорно, улитка. Перегородкой она делится по всей длине на два хода, называющіеся лестницей преддверия (*scala vestibuli*) и барабанной лестницей (*scala tympani*). Первый свободно сообщается съ преддверіемъ, второй оканчивается у кожицы круглаго окна. На верхушке улитки оба хода сообщаются благодаря отверстию в перегородке и барабанная лестница отделяется от преддверия только тонкой кожицей. Сама перегородка частью состоит из кости, частью из кожицы. Эта кожица двойная и содержитъ так называемый Кортиев органъ, открытый в 1851 году итальянцемъ графомъ Корти. Этот органъ в высшей степени напоминаетъ собою сложный струнный инструментъ. Состоитъ он из множества палочекъ, образующихъ попарно дугу; оне находятся в связи с волокнами и волосками, между которыми расположены нервныя разветвленія.

Предполагали, что Кортиев органъ представляетъ собою инструментъ, в которомъ каждый отдѣльный тонъ, колебания коего распространяются от овального до круглаго окна через улитку, приводит в колебание звучащую одинаково с нимъ струну так называемымъ симпатическимъ образомъ (§ 355). Это колебание достигаетъ сознания при посредстве соответствующаго нерва. Если это предположеніе правильно, то легко понять, что каждый тонъ долженъ производить особое ощущеніе. В самомъ деле, так как каждый тонъ действуетъ на соответствующую струну и проводится особымъ нервомъ, то образуется привычка относить ощущеніе к тому нервному волокну, которое его принесло. Слуховой нервъ, как и нервы концовъ пальцевъ, несомненно так же мало в состояніи различать, раздражается ли онъ 300 или 400

колебаниями в секунду. Но сознание легко отличает, имеет ли оно дело с нервом для передачи 300 колебаний или с нервом для 400, подобно тому, как оно отличает раздражение указательного пальца от среднего.

Впрочем, строение и действие Кортиева органа, несмотря на самые тщательные исследования, еще не вполне выяснены и приведенная гипотеза является скорее предположением, чем действительным объяснением.

Но факт тот, что механизм уха способен исполнять свою удивительную задачу, и нет никакого сомнения, что мы имеем здесь дело с инструментом, по тонкости строения не имеющим себе равного во всем мире. Но для механизма нет и более высокой задачи, как служить орудием восприятия явлений духовного мира.

Природа евета

378. Уже Аристотелю было известно (ср. § 108), что нельзя видеть предмет, поместив его очень близко перед самым глазомъ. Он заметил также, что один и тот же предмет кажется окрашенным различным образом в зависимости от среды, через которую свет проходит на пути от предмета къ глазу. Такъ, солнце сквозь туман кажется краснымъ, между тем как в ясную погоду оно светит белым светомъ. Эта разница в окраске солнца происходитъ, по мнению Аристотеля, от того, что в тумане свет солнца смешивается съ „темнотой“, а красный цвет не что иное, как смесь известного количества света с определенным количеством „темноты“. Если свет смешивается с темнотой в другом отношении, то возникают другие цвета, которые, по Аристотелю, можно наблюдать в радуге, представляющей отражение солнца в темных облаках. Итакъ, цвета, согласно этому взгляду, представляют смесь света с большим или меньшим количеством темноты. — Эти разсуждения Аристотеля служат прекрасным примером того, как опасно строить теории на единичных наблюденияхъ. Красный цвет солнца несомненно обуславливается туманомъ, но он вовсе не происходит от примеси темноты, — скорее, наоборотъ, причиной его является поглощение света туманомъ. Аристотелевская теория цветовъ, как и многие другие его взгляды, считалась, однако, справедливой в продолжение всех средних вековъ.

379. Так как грекам было известно (§ 94) зажигательное стекло, то можно с уверенностью утверждать, что они также знали, что радужные цвета получаются при преломлении света в зажигательном стекле. Сенека (2— 66 по Р. X.) въ своем большом сочинении по естествознанию (*Quaestiones naturales*) упоминает о томъ, что предметы, рассматриваемые через граненое стекло, имеют окрашенные края, в которых цвета радуги (красный, желтый, зеленый, синий, фиолетовый) следуют друг за другом в обычной последовательности. Сенека назвал эти цвета „не настоящими“ в противоположность действительным цветам радуги. Впоследствии их назвали „*apparente*“, т. е. кажущимися цветами, теперь их называют также призматическими цветами, так как они получаются обыкновенно при помощи стеклянной призмы.

Лишь в середине XVII века эти призматические цвета были подробнее исследованы Марком Марци (1595—1667), профессором медицины в Праге. На рис. 352 изображен выполненный им опытъ. Он пропустил на стеклянную призму Р пучок солнечных лучей, которые преломились в призме и по выходе из нея были приняты на белый экран S; на последнем они дали цветное изображение, значительно большее того, которое ожидал увидеть Марци. А именно, параллельные

лучи света не только были отклонены призмой, но и рассеивались, образуя таким образом на экране цветную полосу RV .

В этом изображении на экране цвета были расположены в обычном порядке радуги. Вверху, т. е. ближе всего к первоначальному направлению пучка лучей, изображение было красного цвета, ниже желтого, зеленого, синяго, а на нижнем конце, наиболее удаленном от первоначального направления лучей, — фиолетового. В своем сочинении, относящемся к 1648 г., Марци очень определенно высказывается по поводу этого факта, утверждая, что лучи света, неодинаково сильно

преломляющиеся, дают различные цвета. Наименее преломляющиеся лучи кажутся красными, наиболее преломляющиеся — фиолетовыми.

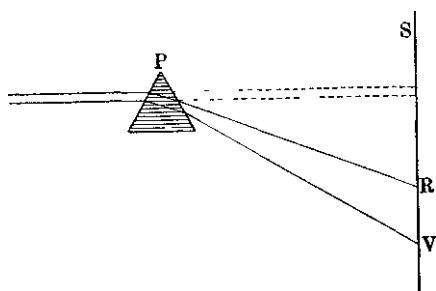


Рис. 352

Тому же исследователю мы обязаны еще одним важным наблюдением. Он отмечает, что свет, однажды преломившийся, при вторичном преломлении сохраняет свою окраску. Происхождение цветов Марци объяснял неправильным допущением, будто различная степень преломления вызывает различное сгущение (конденсацию) света.

Опыт М. Марци.

380. Много внимания уделяли „кажущимся“ цветам в XVII веке. Поводом к

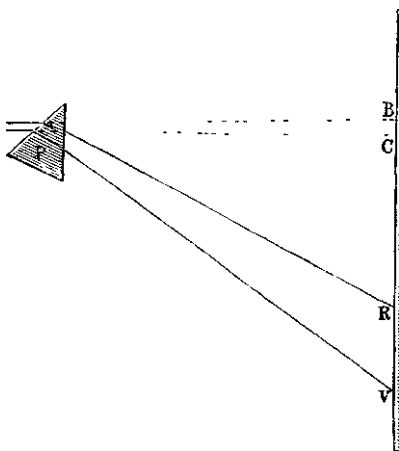
этому служило то неприятное обстоятельство, что предметы, рассматриваемые через недавно изобретенную тогда зрительную трубу, казались окруженными цветной каймой. Различные ученые, как, например, Декарт и Роберт Гук, пытались объяснить происхождение этих цветов, но безуспешно. Лишь Ньютону удалось сделать это. В 1666 г. он начал ряд исследований, которые привели к простому объяснению природы цветов.

Он производил свои опыты в темной комнате. Через отверстие A в ставне (рис. 353) в $1/4$ дюйма в поперечнике он пропускал пучок солнечных лучей в темную комнату. На противоположной стене, на расстоянии 22 дюймов получалось белое солнечное изображение BC . Затем он ставил на пути лучей призму P . Если преломляющее ребро призмы было направлено вверх, то лучи отклонялись вниз и получалась цветная полоса такой же ширины, как и солнечное пятно, но в пять раз длиннее. В этом удлиннном изображении, которое Ньютон назвал спектром, он, подобно Марци, нашел главные цвета радуги: красный, желтый, зеленый, синий и фиолетовый со всеми промежуточными оттенками. — Прежде всего он убедился, что нельзя искать объяснения происхождения цветов в неодинаковой длине пути, проходимого в призме различными лучами, — предположение, высказанное ранее Кеплером. Ньютон придавал призме различные положения и давал отверстию A различные формы, но в цветах спектра не наблюдалось никакого изменения.

Далее Ньютон старался решить, не служит ли причиной окрашивания неоднородность стекла призмы, и пробовал помешать образованию спектра, заставляя лучи, рассеянные призмой, проходить через вторую призму, расположенную обратно первой (рис. 354). К своему удивлению он заметил, что теперь на стене появи-

лось белое круглое изображение солнца. Этот опыт показать, что призма несколько не мешала ходу лучей, но определенным образом влияла на него: вторичное преломление (в противоположном направлении) вновь приводит к первоначальному положению, т. е. снова дает белый свет. Из того обстоятельства, что свет, после одного преломления окрашенный, после вторичного преломления

Рис. 353



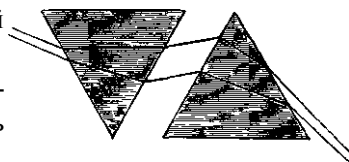
Спектр Ньютона

снова сливаются в белый, Ньютон сделал важный вывод, что первоначальный белый свет уже до вступления в первую призму представляет смешение цветных лучей, которые рассеиваются потому, что отклоняются призмой в различной степени. Если затем во второй призме (рис. 354) они в такой же мере преломляются в обратном направлении, то различ-

Рис. 354

ные цвета вновь сливаются и снова дают белый свет.

С целью подробнее исследовать этот вопрос Ньютон произвел ряд опытов. Он заставил, например, свет, рассеянный призмой, падать на собирающее стекло (рис. 355). Цветные лучи, собранные чечевицей, дали на экране белое (неокрашенное) пятно света.

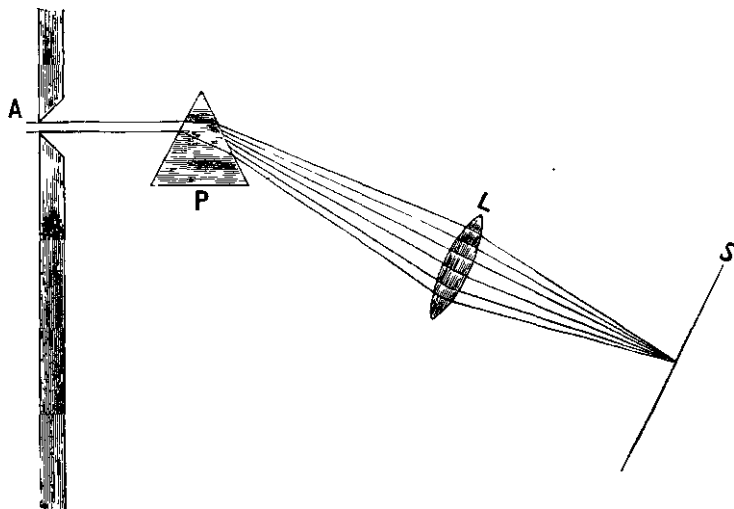


Противоположное действие двух призм.

Таким образом Ньютон нашел, что белый солнечный свет содержит лучи различных цветов и что каждый из этих лучей имеет свой определенный показатель преломления. Красные лучи преломляются слабее, а фиолетовые—сильнее остальных. Но если белый солнечный луч проходит через призму, то цвета отделяются друг от друга и эти рассеянные лучи дают на экране спектр. Белый цвет есть, следовательно, смесь всевозможных цветов.—Это можно хорошо показать следующим образом. Через А (рис. 353) световой луч падает на призму Р, которая рассеивает луч так, что образуется спектр RВ. При вращении призмы вокруг оси, параллельной преломляющему ребру, спектр движется по стене вверх и вниз; если вращать

призму очень быстро, то одно и то же место экрана будет окрашиваться различными цветами, очень быстро следующими один за другим. Если смотреть на это место, то из него в глаз будут попадать лучи различных цветовъ; эти цветовыя впечатления будут следовать одно за другим так быстро, что одно не успеет исчезнуть, как появится новое. И так как световое впечатление зритель-

Рис. 355

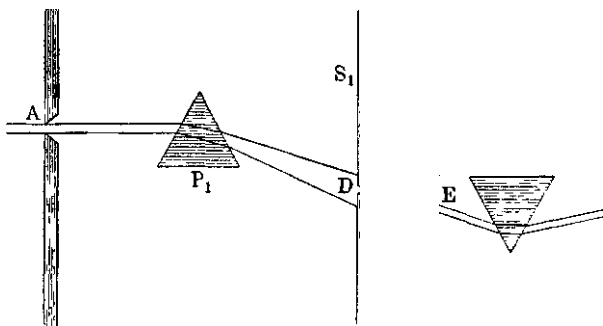


Соединение цветных лучей в белый светъ.

ного нерва сохраняется в течение некоторого промежутка времени (ср. § 111), то все эти различные цветовыя ощущения сольются в одно, а именно, в ощущение белого света.

381. Очень важно было убедиться в томъ, что лучи различных цветовъ преломляются неодинаково сильно. Ньютон доказал это следующим опытом. Призмой P_1 (рис. 356) белый солнечный свет рассеивается, так что на экран S_1

Рис. 356



Experimentum crucis (решающий опытъ).

получается спектръ. Через узкое отверстие D в этом экране может пройти дальние только один цветной лучъ, который попадает на экран S_2 , снабженный, подобно

первому, отверстием E . Пройдя сквозь это отверстие, луч попадает на призму P_2 и после прохождения сквозь нее падает на третий экран S_3 . Световой луч, падающий на призму P_2 , сохраняет направление DE при всевозможных условиях.— Вращая первую призму P_1 , Ньютон мог заставить пройти через отверстие D и попасть на призму P_2 любой из цветных лучей; при этом он заметил, что пятно света на последнем экране занимало наивысшее положение, если оно было фиолетовым, и самое нижнее, если было красным. Это доказывает, что при прохождении через призму P_2 красные лучи преломляются меньше, а фиолетовые больше всего.

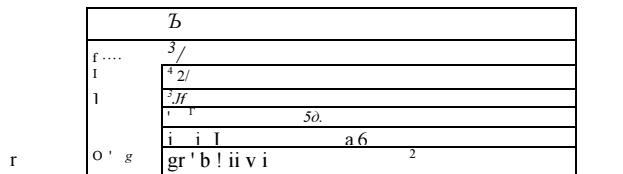
Из этого опыта непосредственно следовало также, что простой (монохроматический) свет после преломления уже не разлагается на новые цвета. Узкий пучок лучей DE не рассеивался призмой и лучи по выходе из нея были параллельными.

Ньютон придавал этому опыту и двум указанным его следствиям большое значение и назвал его *experimentum crucis*. Слово крест (*crux*) напоминает крест на перекрестке, указывающий дорогу. Ньютон хотел этим выразить мысль, что этот опыт указывает правильный путь к пониманию происхождения призматических цветов.

382. Каждый цветной луч дает свое особое изображение солнца и два цветных луча, лежащих рядомъ, дают два изображения солнца, расположенныя в спектре почти на одном и том же месте и поэтому отчасти налагающіяся друг на друга. В таком спектре цвета, следовательно, не чисты.

Как разобраться в спектре? Наш глаз не в состоянии заметить слабые оттенки в цветах. Ньютон предложил различать в спектре семь главных цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый. Границы между отдельными цветами он определил следующим образом. Пусть RV будет длина всего спектра (рис. 357); на той же прямой отложим отрезок VZ , равный RV , и примем длину RZ за 1. Тогда расстояние от Z до фиолетового цвета равно половине. Расстояние от Z до синяго цвета Ньютон положил равным $\frac{9}{16}$, до

Рис. 357



V

НЬЮТОНОВО разделение спектра.

голубого $\frac{3}{5}$, до зеленого, желтого, оранжевого и красного соответственно $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{6}$ и $\frac{8}{9}$ и до конца красного, следовательно, равным 1. Как легко видеть, эти числа представляют длины струн, тоны которых образуют минорную гамму:

$$1/2, -9/16, 3/5, -2/3, -3/4, -5/6, 8/9, 1$$

Это дало повод говорить о семи „оптических" тонах, и некий П. Каstellли разработал даже план оптического музыкального инструмента, оптического органа, который при помощи цветов должен был производить на глаз такое же приятное

впечатление, какое аккорд производит на ухо. Но этот план был основан на недоразумении, так как разделение спектра было сделано Ньютоном совершенно произвольно. Это разделение должно было дать способ фиксировать определенные точки в спектре. В настоящее время мы достигаем этого при помощи показателей преломления различных цветов (ср. § 391).

Ньютон пользовался этим разделением также для того, чтобы определить, в каком отношении необходимо смешать цвета для получения белого цвета. Такого рода опыт можно произвести следующим образомъ. Круглая пластинка делится на семь секторовъ, площади которых пропорциональны ширине семи главных цветовъ спектра; эти секторы раскрашиваются в соответствующие цвета. Если затем привести пластинку в быстрое вращение, то глаз получит впечатления всех цветовъ в одном месте, и так как впечатления отдельных секторов действуют на

Рис. 358 зрительный нерв почти одновременно, то пластинка



покажется нам белой. Так какъ, однако, наши краски не могут вполне передать призматические цвета красками, то у нас получится, конечно, не вполне чистый белый цветъ.

383. Легко объяснить, почему предметы сквозь призму кажутся нам окаймленными цветными краями. Ньютон пропускал свет через щель на призму и полученный затем спектр принималъ на экранъ. Ширина щели приблизительно равнялась ширине призмы. Полученное изображение было по

Цветной кружокъ. середине белымъ, но край его на одном конце был красного цвета, на другом фиолетового.

Ньютон дал правильное объяснение также этому явлению. Именно, призма дает целый ряд цветных изображений щели, которая по середине сливаются и дают белый цветъ. Каждая из полосок света, на которыя можно мысленно разделить щель по длине, дает на экране свой спектръ, причем каждый последующий лежит немного выше (или ниже, смотря по положению призмы) предыдущаго. Вследствие этого в середине изображения все цвета сливаются и дают белый светъ, между тем какъ на одном конце остается красное, а на другом фиолетовое изображение щели, цвета которых не могут слиться с другими в белый.

Ньютон установил далее, что при прохождении через линзы свет испытывает также не только преломление, но и рассеяние, вследствие чего изображения в зрительной трубе становятся неясными. Еще раньше при помощи вычислений было найдено, что линза должна ограничиваться не шаровыми поверхностями, если желательно иметь отчетливые изображения. Но и те линзы, которыя шлифовались согласно этим указаниямъ, давали неясныя изображения с мутноватой окраской. Дело в томъ, что эти вычисления были правильны только для лучей с одним определенным показателем преломления. Таким образомъ, эти линзы дали бы ясное и единственное изображение лишь в том случае, еслибы светящееся тело испускало лишь один род цветных лучей. Если же оно испускает белый светъ, то линза дает несколько изображений. Если, например, из точки *S* на линзу *L* падает белый свет (рис. 359), то изображение этой точки будет различное для лучей

различных цветовъ. Фиолетовые лучи, преломляющиеся наиболее сильно, собираются в точке $\square$ красные, преломляющиеся наиболее слабо, — в точке z . Изображение точки 5 будетъ, следовательно, линией $\square$. Таким образомъ, линза не может дать отчетливого изображения точки S , потому что лучи, исходящие из одной точки, не собираются снова в одной точке.

Ньютон был того мнения, что преломление и светоразсеяние неразрывно связаны друг с другом и что отношение между величиной преломления и величиной разсеяния всегда одно и то же независимо от преломляющей среды. Отсюда он вывел заключение, что устранить светоразсеяние нельзя, не устранив вместе с тем и преломления, и что, следовательно, при помощи линзы невозможно получать ясныя изображения. Поэтому он рекомендовал зеркальные телескопы (ср. §291).—Этот взгляд Ньютона впоследствии оказался ошибочнымъ. Вопрос снова был поднят лишь в 1747 г. Эйлером (II, § 230), который написал статью об усовершенствовании объективов зрительных трубъ.

Конечно, Эйлер не могъ оспаривать правильности опытов Ньютона, из которых вытекало, что призма, уничтожая разсеяние другой призмы, уничтожает и ея преломление (ср. § 380). Действие простого собирающего стекла.

Но он указал на то, что глаз дает неокрашенные изображения и что поэтому должно быть возможно получить системы стеколъ, не дающих окрашивания (ахроматическия), путем сочетания различных линзъ. Семь лет спустя шведскому математику Самуилу Клингеншерне (1698—1765) также удалось доказать теоретически, что утверждение Ньютона, будто светоразсеяние может быть устранено только вместе с преломлениемъ, ошибочно. Клингеншерне, наоборотъ, пришелъ к выводу, что после устранения преломления светоразсеяние часто сохраняется. Он послал свою статью в Лондон оптику Джону Доллонду, который занимался опытами получения ахроматических стеколъ, на что его направила работа Эйлера. Доллонд пропускал луч света через стеклянный сосудъ, наполненный водой, в котором находилась стеклянная призма. Свет проходилъ, следовательно, через две водяныя призмы и одну стеклянную (рис. 360). Доллонд расположил опытъ такъ, что световой луч выходил изъ

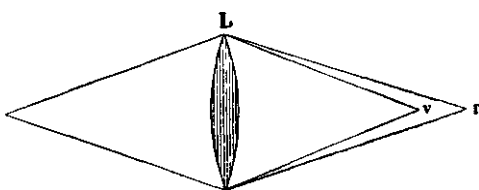
стеклянного сосуда по тому же направлению, по которому он входил туда, и заметилъ, что в этом случае выходящий луч был окрашенъ. Здесь, следовательно, преломление было устранено, а светоразсеяние не было. Тогда

Доллонд стал пытаться устранить

светоразсеяние, сохраняя преломление; это ему удалось при помощи комбинации двухъ линзъ—одной из кронгласа, другой из флинтгласа. Флинтглас разсеивает светъ сильнее, чем кронгласъ. Эта сложная линза Доллонда состояла из собирающей линзы из кронгласа и рассеивающей линзы из флинтгласа. Собирающая

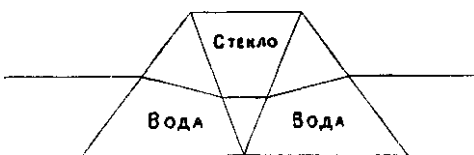
Рис

359



Рис

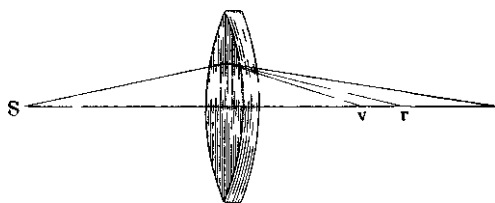
360



Опыт Доллонда.

линза одна дала бы изображение светящейся Иочки в виде цветной линш z (рис 361), где z обозначает точку, въ которой сходятся красные лучи, а v —фиолетовые. Но непосредственно за собирательной линзой из кронгласа находится рассеивающая линза изъ флинигласа. Она преломляет фиолетовые лучи сильнее, чемъ красные,

так Рис 361 что два таких луча сходятся въ



Ахроматическая линза

точке B . Двойная линза действует, следовательно, подобно собирательному стеклу, но светоразсеяние, производимое одной линзой, уничтожается другой. Эти двойные линзы все же не абсолютно свободны от окрашивания. На практике, вообще говоря, устрани-

зываются такъ> что соединяются не красн^ые, и

цвет с фиолетовымъ, а желтокрасный с зеленоголубымъ.

384 Открытиемъ этихъ такъ называемыхъ ахроматическихъ стеколъ Доллондъ далъ толчокъ делу усовершенствования телескопа, изображения въ которомъ благодаря этимъ линзамъ значительно улучшились. Оне находятъ теперь широкое применение въ телескопахъ и микроскопахъ.

Доллондъ былъ по происхожденію французъ и родился въ 1706 г. Родители его вследствие отмены Нантскаго Эдикта эмигрировали въ Англію. Молодой Доллондъ рано лишился родителей и изучилъ тканье шелковыхъ матерш, но въ свободное время занимался различными науками, особенно оптикой и астрономіей. Сво- его сына Петра онъ отдалъ въ ученіе къ оптику и въ 1752 г. основалъ вместе съ нимъ мастерскую оптическихъ инструментовъ. В то же время онъ вступилъ въ сношенія съ Royal Society и самъ сталъ его членомъ, а также королевскимъ оптикомъ. Онъ умеръ въ 1761 г.

385. Ньютонова теорія происхожденія цветовъ позволила дать болѣе правильное объясненіе явленію радуги. Аристотель (§ 378) объяснялъ радугу, какъ смешанное съ „темнотой“ изображеніе солнца въ облакахъ. Онъ зналъ также, каково должно быть положеніе радуги по отношенію къ солнцу. Радуга всегда находится напротивъ солнца, а центръ ея дуги лежитъ на продолженіи линш, проведенной отъ солнца къ глазу наблюдателя. И такъ какъ радиусъ радуги всегда одинъ и тотъ же, то вообще радуга невозможна, когда солнце стоитъ на небѣ очень высоко. Чемъ ниже солнце, темъ выше надъ горизонтомъ радуга.

Аристотелю было также известно, что, кромѣ главной радуги, бываетъ иногда вторая радуга, параллельная первой, въ которой цвета расположены въ обратномъ порядкѣ. Въ главной радугѣ внешний край краснаго цвета, а внутренний фиолетоваго, въ вторичной радугѣ наоборотъ: внешний край фиолетоваго, а внутренний краснаго цвета. Сенека, который часто соглашался съ взглядами Аристотеля, тоже считалъ радугу отраженіемъ солнца. Причину же того, что это изображеніе во много разъ больше самаго солнца, онъ находилъ въ томъ, что въ водѣ все увеличивается.

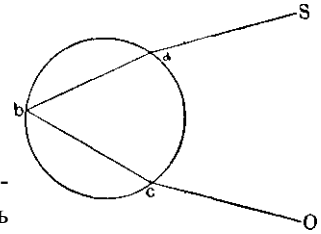
386. Эти разсужденія, однако, не даютъ действительнаго объясненія радуги. Радуга образуется не только потому, что светъ отражается въ дождевыхъ капляхъ, но и потому, что онъ преломляется въ этихъ прозрачныхъ капляхъ. Это мнѣніе впервые было высказано Вителло, современникомъ Р. Бэкона, и затемъ развито

далее в сочинении саксонского монаха Теодориха (Theodoncus de Saxonia), написанном в 1311 г., но изданном Вентури лишь в 1814 г. (Commentar sopra la stona e la teona dell'ottica). Идеи Теодориха, таким образом, не оказали никакого влияния на дальнейшее развитие теории радуги, но заслуживают, конечно, быть отмеченными здесь.

Теодорих правильно и точно описывает путь светового луча в капле воды. Луч света, идя по направлению Sa (рис 362),

Рис 362

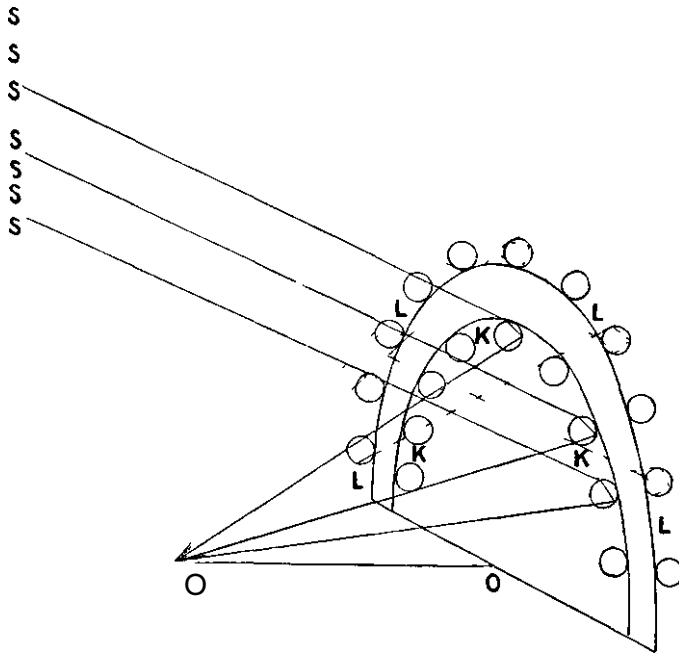
вступает в каплю по направлению ab , отражается в точке b (полное внутреннее отражение, § 107) и выходит по направлению co . Глаз, находящийся на прямой co , получает, следовательно, свет, два раза преломленный и один раз отраженный.



Лучи такого света, подвергшегося двойному преломлению и одному отражению, могут попасть в глаз в O (рис 363) от всех капель, расположенных на окружности KK , центр которой лежит на прямой, проведенной от солнца к O . В самом деле, все эти капли по отношению к падающим лучам 555 и пазу O находятся в одинаковом положении. Раз в глаз O попадает свет от одной из этих капель, то в него

Путь светового луча в капле воды

Рис 363



Главная и вторичная радуга

попадет и свет от всех остальных,— дуга, образованная этими каплями, покажется поэтому светящейся. Это и есть, говорит Теодорих, главная радуга.

Но глаз воспринимает свет и от целого ряда водяных капель (LL), лежащих на окружности вне главной радуги. Солнечный луч встречает каждую из этих капель в A (рис. 364), преломляется по направлению к B , отражается отсюда в C , а от C в D , откуда выходит по направлению DO .

Свет от капель LL (рис. 363) несколько слабее, чем свет от капель KK , так как он отражается два раза, а при каждом отражении часть света пропадает, т. е. рассеивается в воздух. Вследствие этого дуга LL не так ярка, как дуга KK . Поэтому ее и называют вторичной радугой.

Эти рассуждения Теодориха дают в существенном правильное объяснение радуги. Но величину радуги и происхождение цветов Теодорих объяснить не мог, так как ему не был известен закон преломления (ср. § 106).

387. Происхождение цветов радуги объяснил при помощи красивого опыта Антоний де Доминис (1566 — 1624). Он наполнил стеклянный шар водой и выставил его на солнечный свет. Часть света проходила через шар, другая часть отражалась (рис. 365) и оказалось, что как прошедшие лучи, так и отраженные были окрашены. Доминис объяснил происхождение цветов предположением, что

Рис. 364

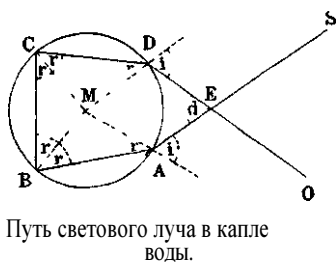
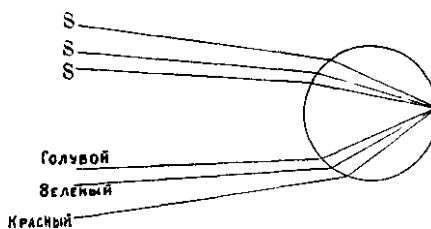


Рис. 365



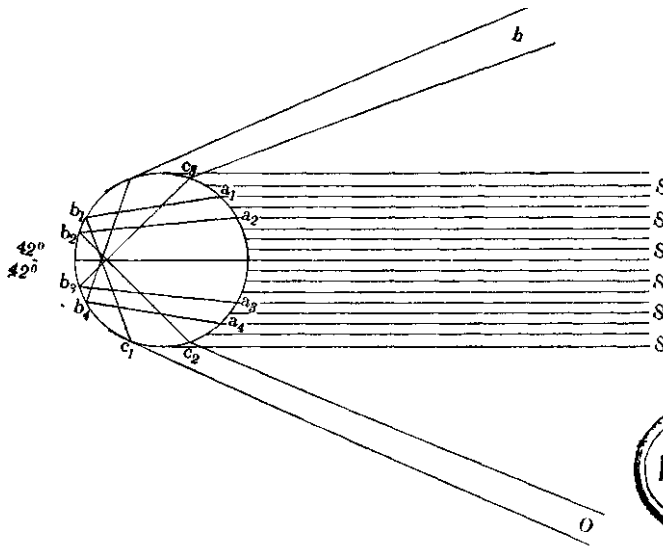
Замечание Декарта.

самый нижний луч смешан с меньшим количеством „темноты“, чем остальные, так как он проходит в капле более короткий путь. На этом основании нижний луч должен быть красным, верхний фиолетовым, а промежуточные лучи должны дать остальные цвета. Этот опыт впоследствии был повторен Декартом, которому уже был известен закон преломления света. Декарт заметил, что цвета радуги, которые при известном положении шара располагаются в порядке: фиолетовый, синий, зеленый, желтый и красный, исчезают и затем располагаются в обратном порядке, если поднять шар выше. Это, очевидно, соответствует внутренней и внешней радуге. Декарт заметил, что наполненный водой шар посылает свет глазу лишь при вполне определенных положениях, именно, когда прямая, идущая от шара к глазу, образует определенный угол с прямой, соединяющей глаз наблюдателя и солнце. Тогда он вычислил, в каком направлении должны идти солнечные лучи, которые, падая параллельно на каплю воды, преломляются при падении, подвергаются отражению внутри капли и вновь преломляются при выходе из нее. Пусть S, S, S (рис. 366) будут параллельные солнечные лучи. Они отчасти отражаются от поверхности капли, отчасти вступают в каплю и идут по пути, указанному на рис. 362 или 364. Из вычислений Декарт нашел, что лучи, отразившиеся один раз внутри капли (рис. 362), выходят, разу-

меется, по различным направлениям, но главным образом по одному определенному направлению $сО$ (рис. 366), образуя с направлением падающих солнечных лучей угол в 42° . Только по этому направлению глаз получает от $ь$ капли сильное световое ощущение. Поэтому глазу в точке O кажутся сильно светящимися те капли, которые расположены на окружности с центром в точке пересечения прямой „солнце — глаз наблюдателя” с небесным сводом и которые отстоят от этой точки на 42° .

Однако, луч может пройти каплю также путем, указанным на рис. 364, отразившись внутри неа два раза. Декарт и в этом случае нашел аналогию с тем, что происходит с лучами при однократном отражении. Лучи выходят главным образом по направлению, образуя с направлением к солнцу угол

Рис 366



Декартово вычисление относительно радуги

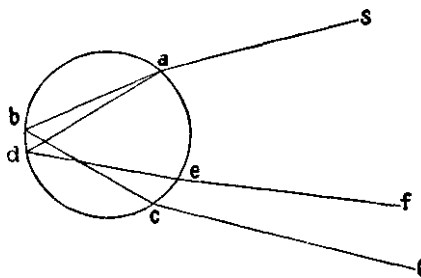
в 52° . Глаз в точке O получает, следовательно, сильный свет как от капель, расположенных на окружности KK (рис. 363), точки которой удалены на 42° от точки пересечения линии „солнце—глаз наблюдателя” с небесным сводом, так и от капель на окружности LL , точки которой удалены от упомянутого места на 52° . От KK (главной радуги) получается более сильный свет, так как здесь имеет место только одно отражение. Свет, идущий от LL , значительно слабее, и цвета расположены, в согласии с опытом Декарта, в обратном порядке.

388. Итак, Декарт при помощи своих вычислений дал объяснение тому, что радиус радуги (выраженный в дуговых мерах) всегда один и тот же, а также тому, что расстояние вторичной радуги от главной равно приблизительно 10° . Но объяснить происхождение ее цветов ему не удалось, так как это было невозможно без Ньютоновой теории цветов. Разсматривая путь луча в каплях, дающих главную радугу, мы найдем, что при входе в каплю (в a , рис. 367) луч рассеивается; пусть ab означает крайний красный луч, а ad крайний фиолетовый. После отражения в b и d , первый луч выходит из капли по направлению $сО$, а

второй по направлению ef . Глаз, находящийся в O , видит только красный луч—одинаково как из рассматриваемой капли, так и из всех остальных, находящихся в таком же положении. Далее, тот же глаз получает желтый свет от капель, непосредственно следующих за теми, из которых идет красный, именно от расположенных внутри круга первых капель. Далее за ними следуют круги капель, от которых глаз получает зеленый, голубой и фиолетовый свет.

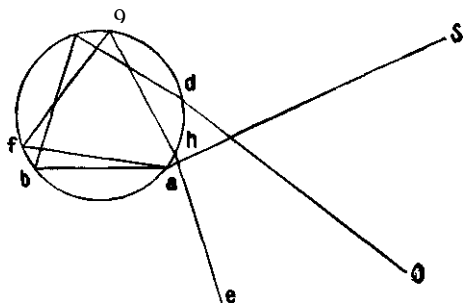
. Во вторичной радуге цвета вследствие двойного отражения следуют в обратном порядке. Путь такого светового луча показан на рис. 368. Луч вступает в каплю в точке a и при этом рассеивается. Красный луч идет по направлению $abcdO$, а фиолетовый по направлению $afghe$. Здесь, следовательно, фиолетовый

Рис. 367 луч образует больший угол с на-



Цвета в главной радуге.

Рис. 368



Цвета во вторичной радуге.

правлением солнечных лучей, чем красный. Поэтому во вторичной радуге внешний край фиолетовый, а внутренний красный.

Промежуток между главной радугой и вторичной кажется немного более темным, чем пространство внутри главной радуги и вне вторичной, так как эти две дуги представляют границы отраженных световых лучей.

Кроме главной радуги и отстоящей от нее на 10° вторичной могут получаться еще и другие радуги, если солнечные лучи будут отражаться в капле более двух раз. Но эти радуги очень бледны и поэтому редко бывают видны. Удобнее всего можно наблюдать их, направив при помощи зеркала сильный солнечный свет на падающие капли фонтана. Этим путем французскому физику Билье удалось наблюдать не менее 19

различных радуг.

Нужно также заметить, что с радугой связаны и другие оптические явления, например, образование цветных полос внутри главной радуги и вне первой из вторичных радуг. Объяснение этих явлений требует обширных вычислений, которых мы не можем привести здесь. Для понимания их необходимо также знание других оптических явлений, которые будут рассмотрены нами лишь впоследствии.

389. Белый солнечный свет содержит, как мы видим, лучи различного рода, а именно, лучи различной преломляемости. Наименее преломляющиеся лучи мы назвали „красными“, наиболее преломляющиеся—„фиолетовыми“. Между красными и фиолетовыми лежат желтые, зеленые и синие лучи. Это не значит, что лучи эти сами по себе имеют цвет. Все световые лучи сами по себе невидимы. Мы не видим светового луча, когда он проходит перед нами. Можно, конечно, видеть полосу света, которая, например, проникает через замочную скважину в темную

комнату, но это лишь потому, что мы видим светъ, отражающійся отъ пылинокъ, рассеянныхъ въ воздухѣ. Такое световое ощущение можетъ быть сильнѣе или слабѣе и глазъ въ состояніи, хотя бы въ слабой степени, различать болѣе сильный светъ отъ болѣе слабаго. Но родъ светового ощущения зависитъ отъ степени преломляемости свѣта. Если мы воспринимаемъ впечатлѣніе отъ смеси лучей всехъ возможныхъ степеней преломляемости и если отдѣльныя составныя части этой смеси находятся между собой въ томъ же отношеніи, что и въ солнечномъ свѣтѣ, то глазъ получаетъ впечатлѣніе свѣта, которое нервы передаютъ сознанию однимъ определеннымъ образомъ. Если же световое впечатлѣніе вызывается лучами только одной преломляемости, то мы воспринимаемъ его инымъ образомъ. Эти различныя по роду световыя впечатлѣнія мы различаемъ, какъ ощущенія различныхъ цвѣтовъ. Наименѣе преломляющіеся лучи даютъ ощущеніе краснаго цвѣта, немного болѣе преломляющіеся — желтаго и т. д.

Если свѣтъ, идущій отъ какого-нибудь предмета, вызываетъ то же световое ощущеніе, что и солнечный свѣтъ, то мы называемъ предметъ бѣлымъ. Предметъ, посылающій „красныя“ лучи, мы называемъ краснымъ и т. д. Цвѣта предметовъ зависятъ, такимъ образомъ, отъ степени преломляемости посылаемыхъ ими лучей свѣта. Говоря, что листья деревьевъ зелены, мы указываемъ, что листья отражаютъ зеленые лучи солнечнаго свѣта, поглощая въ болѣе или меньшей мерѣ остальные лучи.

Есть много веществъ, какъ, напримеръ, безцвѣтное стекло, которыя пропускаютъ различныя световыя лучи въ одинаковой степени. Бѣлый свѣтъ при прохожденіи черезъ подобную среду не испытываетъ поэтому никакихъ измѣненій. Другіе (окрашенные) сорта стекла, напротивъ того, пропускаютъ лишь лучи свѣта определенной преломляемости: „красное стекло“ только красныя лучи, „зеленое стекло“ лишь зеленые лучи и т. д. Это, однако, не следуетъ понимать въ томъ смыслѣ, что пропускаемый свѣтъ въ буквальномъ смыслѣ слова одноцвѣтный (монокроматическій), т. е. что все лучи его преломляются совершенно одинаково. Черезъ красное стекло проходитъ целый рядъ близкихъ другъ къ другу красныхъ лучей, дающихъ смешанный красный цвѣтъ. Дальше мы увидимъ, что способность жидкостей поглощать извѣстныя лучи солнечнаго свѣта Июлучила практическое применение.

Въ большинствѣ случаевъ предметъ имеетъ одинъ и тотъ же цвѣтъ безразлично, получаетъ ли глазъ отраженный отъ предмета свѣтъ или прошедшій сквозь него. Кусокъ краснаго стекла кажется краснымъ и въ отраженномъ и въ проходящемъ свѣтѣ. Причину этого явленія следуетъ искать въ томъ, что свѣтъ отражается не геометрической поверхностью стекла: лучи несколько проникаютъ въ самое стекло и отражаются отъ внутреннихъ его частей. Если стекло обладаетъ свойствомъ поглощать все лучи кромѣ красныхъ, то отраженный свѣтъ такъ же, какъ и проходящій, будетъ краснымъ. Еслибы отраженіе свѣта происходило действительно только отъ поверхности стекла, то, разумеется, бѣлый свѣтъ, отражаясь, долженъ былъ бы дать бѣлый свѣтъ. Некоторые же вещества въ этомъ отношеніи обладаютъ замѣчательными свойствами. Если капле раствора фуксина дать высохнуть на стеклянной пластинкѣ, то полученное пятно въ проходящемъ свѣтѣ будетъ казаться краснымъ, а въ отраженномъ — зеленымъ. Это происходитъ потому, что зеленые лучи отъ поверхности отражаются, а при прохожденіи свѣта сквозь вещество поглощаются. То же самое обнаруживаютъ и цвѣтныя металлы; золото отражаетъ преимущественно

красные и желтые лучи, но тонкая просвечивающая золотая пластинка пропускает зеленый светъ.

390. Говоря вообще, предмет имеет один из тех цветовъ, которые содержатся в падающем на него свете. Если, напримеръ, предмет освещается красным светомъ, то он кажется окрашенным в более или менее яркий красный цветъ. Зеленый лист в красных лучах виден крайне слабо, но все же кажется краснымъ. Зеленый лист сквозь красное стекло кажется краснымъ, именно потому, что зеленый лист отражает от своей поверхности красные лучи. Существуют, однако, вещества, испускающія свет другой преломляемости, чем тотъ, который на них падаетъ. Уже в XVI веке один испанский ученый сделал наблюдение, впоследствии более точно описанное А. Анасией Кирхером и Робертомъ Бойлемъ. Позднее это интересное явление было забыто и впервые вновь им занялся Гёте.

Анасий Кирхер получил в подарок кубок из одного американскаго дерева (Anacardium). Кирхер заметилъ, что вода, находившаяся несколько времени в этом кубке, оставаясь совершенно чистой, приобретала своеобразный голубой цветъ. Лучи света, проходившие сквозь воду, не были цветными, но вода приобретала свойство испускать голубой светъ. Бойль также исследовал это явление и нашелъ, что вода, бывшая в соприкосновении с этим деревомъ, в проходящемъ свете казалась золотисто-желтой, а в отраженном голубой.

Это замечательное оптическое свойство вода приобретаетъ, разумеется, потому, что растворяет какую-то составную часть упомянутого дерева. Гёте нашелъ, что кора конского каштана действует на воду подобным же образомъ. Если свет падаетъ на этот растворъ, то он отражает чистый голубой светъ. Если же смотреть сквозь растворъ, то предметы кажутся желтыми. В 1833 году Брустер нашелъ, что раствор зеленого красящаго вещества листьев (хлорофилла) в спирте кажется на солнце темно-краснымъ. Брустер наблюдал также, что плавленый шпат светит на солнце голубым цветомъ. С тех пор найдено было много веществъ, светящихся на солнце собственным светомъ. Одним из наиболее известныхъ веществъ такого рода является керосинъ.

Английский физик Стокс произвел целый ряд тщательныхъ исследований для объяснения природы флуоресценции (это название произошло от плавленнаго шпата, содержащаго элемент *фторъ* = *Fluor*). Он направлялъ солнечный спектр на стеклянный сосуд с прозрачнымъ флуоресцирующимъ растворомъ серно-кислаго хирина. Красные, желтые, зеленые и голубые лучи пропускались жидкостью, фиолетовые же лучи действовали такъ, что жидкость становилась светящейся и испускала голубоватый светъ. Невидимые лучи, лежащие за фиолетовымъ концомъ спектра, такъ называемые ультрафиолетовые, также делают жидкость светящейся. По Стоксу этот процесс заключается в томъ, что жидкость поглощаетъ фиолетовые и ультрафиолетовые лучи и испускаетъ синие. А такъ какъ фиолетовые и ультрафиолетовые лучи преломляются сильнее, чемъ синие, то объяснение это можно формулировать и такъ: флуоресцирующее вещество поглощаетъ некоторые лучи и взаменъ ихъ испускаетъ другие, меньшей преломляемости.

Найдено было, что светъ вольтовой дуги содержитъ гораздо больше ультрафиолетовыхъ лучей, чемъ солнечный светъ, Стокс получалъ спектр электрическаго

света при помощи призмы из горного хрусталя, которая, в противоположность стеклянной призме, пропускает ультрафиолетовые лучи. Принимая этот спектр на флуоресцирующее вещество, например, на бумагу, покрытую солью урана, Стокс замечал, что получался спектр в шесть—семь раз длиннее обыкновенного видимого спектра. При помощи явлений флуоресценции можно, таким образом, обнаружить существование невидимых ультрафиолетовых лучей.

391. Разсматривая солнечный спектр, мы видим бесчисленное множество цветов и цветных оттенков от темнокрасного цвета до темнофиолетового. Глаз не в состоянии определить с точностью границы отдельных цветов, но каждый отдельный цветной луч мы можем определить физически — при помощи его показателя преломления, если этот последний может быть вполне точно измерен. Мы имеем, таким образом, точный признак цвета в величине преломления. Что же касается ощущения цвета, то желтый цвет, например, может быть обусловлен не только желтыми лучами спектра, но также и известной смесью других цветов спектра. Смешивая красные и зеленые лучи, можно получить все промежуточные цвета. Зеленые и фиолетовые лучи вместе могут дать голубой цвет. Существуют, однако, три цвета—красный, зеленый и фиолетовый,—которых нельзя получить смешением других цветов и которые поэтому называются основными цветами. Из них, путем смешения, могут быть получены все остальные цвета, и так как все цвета вместе дают белый цвет, то и три основных цвета должны дать при смешении белый цвет. Опыты над смешением цветов производятся при помощи кружка, изображенного на рис. 358 (ср. § 382).

Если раскрасить этот кружок тремя основными цветами, красным, зеленым и фиолетовым, и привести его во вращение, то получится впечатление белого цвета, если, конечно, раскрашенные секторы находятся друг к другу в надлежащем отношении. Когда секторы раскрашены только в зеленый и фиолетовый цвет попеременно, то вращающийся кружок кажется зеленоголубым. Если поэтому вращать кружок с нанесенными на нем красными и зеленоголубыми секторами попеременно, то он покажется белым. Два цвета, вместе дающие белый, называются дополнительными цветами, и всякому цвету соответствует другой, дополняющий его до белого. Если вписать названия цветов в 10 секторов круга, как указано на рис. 369, то каждая пара диаметрально противоположных названий указывает дополнительные цвета.

Чистые дополнительные цвета можно получить при помощи спектра. Если пропустить пучок лучей сквозь призму и задержать экраном 5" (рис. 370) из всех цветных лучей только красные, а остальные пропустить через собирающее стекло, то на экране *B* они, соединившись, дадут зеленоголубое пятно. Если из солнечного света исключить красные лучи, то остальные, конечно, образуют вместе дополнительный цвет для красного.

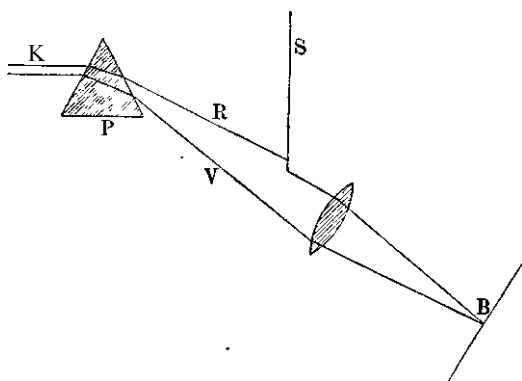
392. Доверять способности глаза различать цвета нельзя. Белый цвет не всегда ощущается, как белый. Если долго и пристально смотреть на красный кружок, укрепленный на белой стене, а затем перевести взгляд на стену, то в течение некоторого времени глаз еще продолжает видеть изображение кружка,—первая несколько мгновений в его настоящем цвете, а затем в дополнительном. Происхождение этих так называемых субъективных цветов объясняется прежде всего тем, что световое впечатление сохраняется в течение некото-

рого промежутка времени, а затем также и темъ, что зрительный нерв утомляется лучами одного цвета и потому становится сравнительно более чувствительным къ дополнительным лучамъ. Когда мы перестаем смотреть на красный кружокъ, глазъ еще сохраняет в течение нескольких мгновений впечатление красного цвета, но вскоре затем оно исчезает и дополнительные к красному цвету зеленые лучи, из испускаемых белой стеной, дают субъективное зеленое изображение.

Рис. 369



Рис. 370



Дополнительные цвета.

Разсматривая различныя краски, наложенныя одна возле другой, мы замечаемъ, что оне своеобразно влияют друг на друга: возникают так называемые контрастные цвета. Их можно видеть, напримеръ, разсматривая серый кружок на цветном фоне. Если положить, напримеръ, серую облатку на зеленую бумагу, то она будет казаться красноватой, а на красной бумаге—зеленоватой. Для того чтобы цвета гармонировали другъ с другомъ, каждому цвету должен отвечать лежащий возле него контрастный, по крайней мере в том случае, когда есть только два цвета. Если же число цветов больше двухъ, то соотношения не так просты и никаких обязательных правил в этих случаях указать нельзя.

393. Ньютон представил свою работу о цветах в Royal Society в 1672 г. Семью годами раньше появилось замечательное сочинение о свете, автор котораго, умерший еще в 1663 г. иезуитский патер Франческо Гримальди, былъ учителем в иезуитской коллегии в Болонье. Весьма вероятно, что сочинение это появилось только после смерти автора вследствие его боязни вызвать столкновения, так как содержание этого сочинения находилось в противоречии с общепринятыми в то время взглядами.

Гримальди пропускал свет в темную комнату через узкое отверстие и вводил в полосу света палку, тень от которой падала на белую стену. К своему удивлению Гримальди заметилъ, что самая темная часть тени была шире, чѣмъ следовало бы по закону прямолинейного распространения света. Кроме того по обеимъ сторонам тени он заметилъ цветныя полосы, а при ближайшем разсмотрении нашел такого же рода светлыя цветныя полосы в самой тени.—Для объяснения происхождения этих полосъ Гримальди пришлось допустить, что свет распространяется не только по прямой линии, как это принималось до тех поръ, но что при

соприкосновении с предметомъ, бросающим тень, он идет криволинейно и отчасти попадает внутрь тени, отчасти наружу.

Чтобы убедиться в томъ, что изменение направления света не зависело ни отъ каких преломлений или отражений отъ палиш, Гримальди вместо палки взял непрозрачную пластинку с маленьким круглым отверстием для прохождения света. Тогда оказалось, что круглое пятно света на экране было больше, чем оно должно было бы быть, еслибы солнечные лучи распространялись прямолинейно.

Гримальди изменил затем опыт в том смысле, что пустил свет через два маленьких отверстия таким образомъ, что два световых пятна отчасти налагались друг на друга. То место на экране, куда падал свет от обоих отверстий, было светлее того, которое получало свет только через одно из отверстий, но в более освещенной части светового пятна можно было заметить темныя (цветныя) кольца. Как только одно из отверстий закрывалось, темныя кольца исчезали; стоило открыть его—и они снова появлялись. Итакъ, свет одного из отверстий, падая на световое пятно, образованное светом другого, вызывал его затемнение. Этим опытом Гримальди доказал таким образомъ, что светъ, присоединяясь къ свету, может дать темноту.

394. Свойства света, замеченныя Гримальди, до тех пор были совершенно неизвестны. Никто в то время не зналъ, что свет может заходить за углы, что световой лучъ, смотря по обстоятельствамъ, может усиливать или ослаблять светъ другого луча. Гримальди не удалось, правда, вполне объяснить замеченныя им явления. Он сравнивал светлые и темныя круги пятна света на экране с круговыми волнами, которыя образует камень, брошенный в воду. Возвышения волны соответствуют светлымъ, а долины ея — темным кругамъ. В заключение он говоритъ: „И подобно тому, как волны вокруг камня представляют не что иное, как скопление воды с выемкой вокругъ, так и светящися полосы суть не что иное, какъ светъ, неравномерно распределенный вследствие особаго рассеяния и прорезанный промежутками, наполненными тенью (бедными светомъ)".

Представления Гримальди были правда, очень неясны, но он во всяком случае догадывался, что свет есть нечто сравнимое с водяными волнами. В том же 1665 году, въ котором было напечатано это сочинение, появилось и знаменитое сочинение Роберта Гука „Микрография", в котором он рассматривает светъ, как известный вид волнообразного движения. „Согласно его взгляду свет состоитъ из небольших быслрых колебаний светящагося тела. В однородном теле эти колебания (волны) распространяются во все стороны с одинаковой скоростью. Волна образуетъ поэтому все увеличивающуюся шаровую поверхность, подобно тому какъ волны на воде образуют увеличивающиеся расходящися круги; но световая волна распространяется несравненно быстрее водяной.

395. В том же году, в котором стали известны опыты Гримальди и волнообразная теория Гука, Эразм Бартолин (1625—1698) сделал важное открытие в области оптики. Бартолин принадлежал к влиятельной семье, которая стояла во главе Копенгагенского университета XVII века. Он был врачом и математикомъ, но занимался также астрономическими и физическими исследованиями. В 1664 году он писал о кометахъ, а в 1665—о воздухе в Копенгагене. Его открытие в оптике касалось явлений преломления света в прозрачном известковомъ

шпате, так называемом исландскомъ. Минерал этот прозраченъ, как вода, и кристаллизуется в виде ромбоэдров (рис. 372). Бартолин нашель, что предметы при разсматривании через пластинку известкового шпата кажутся двойными.

Рис 371 Свет из одной и той же точки попадает въ

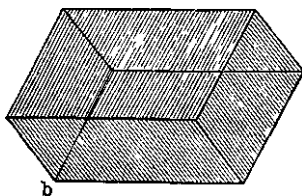


глазь, таким образомъ, по двум направлениямъ. Известковый шпат как бы расщепляет луч света на два луча, из которыхъ каждый идет своимъ особым путемъ. Это видно очень ясно, если положить пластинку известкового шпата на печатный листъ. Все буквы кажутся тогда двойными (рис. 373). Если луч света падает перпендикулярно къ одной из боковых поверхностей этого кристалла, то он разделяется на два луча, из которыхъ один входит в кристаллъ, не преломляясь, другой же преломляется. Выйдя из кристалла, оба луча идут параллельно (рис. 374).

Если луч света падает наклонно къ поверхности кристалла, то он делится на два луча, из которыхъ один следуетъ обычному закону преломления, другой же, говоря вообще, удаляется от плоскости падения. Первый обыкновенно называютъ обыкновеннымъ, а второй необыкновеннымъ лучом (рис. 374).

Эразм Бартолинъ.

Рис. 372



Ромбоэдр известкового шпата

Отшлифовавъ природный кристалл известкового шпата по другимъ направлениямъ, можно заметить, что светъ, смотря по направлению луча в кристалле, преломляется весьма различнымъ образомъ. В вершинахъ *a* и *b* (рис. 372) имеютъ общую вершину три тупыхъ угла. Прямая, образующая в кристалле такие же углы с тремя боковыми поверхностями, называется оптической осью кристалла.

Если отшлифовать поверхность перпендикулярно к этому направлению в кристалле и пустить луч перпендикулярно к этой плоскости, то луч не разделится и пройдетъ через кристалл без преломления. По направлению оптической оси двойного преломления не происходитъ.

Рис. 373



Двойное лучепреломление.

Всякая плоскость, проходящая через оптическую ось кристалла известкового шпата, называется его главным сечением. Если луч вступает в плоскости главного сечения, то оба луча, обыкновенный и необыкновенный, остаются в плоскости падения, т. е. в плоскости главного сечения, но преломляются неодинаково сильно. Если же плоскость падения луча не совпадает с главным сечением, то необыкновенный луч выходит из плоскости падения и его преломление для различных углов падения различно, но всегда меньше преломления обыкновенного луча.

Ри 37, Гюйгенс (§ 161), а за ним многие другие исследователи показали, что во всех кристаллах, обладающих так называемой кристаллографической главной осью (в квадратных и гексагональных кристаллах), свет преломляется таким же образом, как и в известковом шпате, т. е. только один из лучей подчиняется обыкновенному закону преломления света. Подобного рода кристаллы называются оптически-одноосными. Оптическая ось, т. е. направление, для которого двойного преломления не получается, совпадает с кристаллографической главной осью. В так называемых

оптически-двуосных кристаллах также существует двойное преломление, но ни один из двух лучей не следует обыкновенному закону преломления света. Эти кристаллы, так называемые ромбические, моноклинические и триклинические, имеют две оптические оси, т. е. два направления, для которых не получается двойного преломления. В так называемых правильных кристаллах двойного преломления вообще нет.

396. Необходимым следствием всех этих новых открытий явилась потребность выработать определенный взгляд на природу света. Можно считать общим правилом, что накопление значительной массы опытного материала в науке всегда влечет за собой создание гипотезы, охватывающей всю эту массу отдельных явлений с одной общей точки зрения. Такая гипотеза (допущение, предположение) не является, конечно, заключением исследования; напротив — в исследовании природы наиболее плодотворной является такая гипотеза, которая вызывает новый ряд важных открытий, затем становится недостаточной и уступает место более широкой. Но полезно, даже, можно сказать, необходимо, чтобы исследование постоянно охватывало все добытые результаты с какой-нибудь общей точки зрения, которая могла бы лечь в основу дальнейшей планомерной работы. Не следует только забывать при этом, что гипотеза вовсе не есть последнее слово науки. Гипотеза не дает познания абсолютной истины и не должна поэтому становиться догматом, так как в этом случае она послужит только препятствием для свободного исследования.

По господствовавшему в древности воззрению свет состоит из маленьких частиц, испускаемых светящимся телом. Этот взгляд высказывался уже Демокритом из Абдер и оставался общепринятым в продолжение всех средних веков.

Гримальди и Гук рассматривали свет, как волнообразное движение, без всякого определенного представления о родъ этого движения.

Ньютон сознавал всю грудность вопроса о природе света и предпочитал

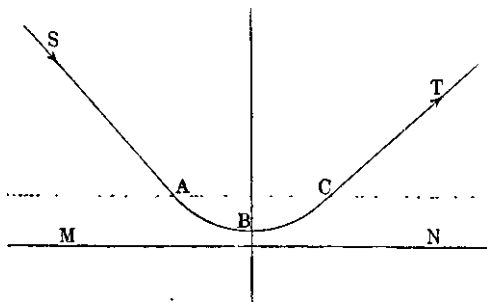
вовсе не высказываться по этому поводу. Сообщая свои открытия относительно происхождения цветов, он не касался этого вопроса, а добытые им результаты были совершенно независимы от представлений о сущности света. Лишь по настоянию своих друзей он опубликовал также и свою теорию света, которая, однако, не вполне удовлетворяла его самого.

397. Ньютон принимал, что всякое светящееся тело испускает маленькие частички, которые при встрече с сетчаткой глаза вызывают в нас ощущение света. Различным цветам соответствуют различной величины частички, фиолетовым лучам—самые маленькие, красным—самые большие.

В этой теории отражение света объясняется легко. Частички света можно считать упругими телами. Ударяясь о гладкую поверхность, они отражаются так, что угол отражения равен углу падения. Трудность при этом заключается в том, что если частицы света достаточно малы, то никакая поверхность по отношению к ним не может быть рассматриваема, как плоскость. Ньютон поэтому принимал, что отражающие поверхности отталкивают частички света и что это отталкивание направляет их по пути, указанному на рис. 375. По этому допущению частичка света вблизи отражающей поверхности движется по кривой линии.

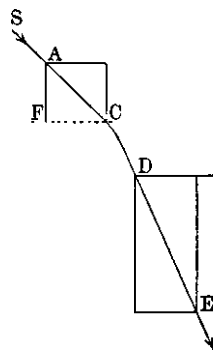
Преломление света Ньютон объяснял допущением, что между частичками света и преломляющим телом существует известное притяжение. Частичка света,

Рис. 375



Ньютоново объяснение отражения.

Рис. 376



Ньютоново объяснение преломления.

приближаясь по пути AC к такому телу, в силу этого притяжения идет по изогнутому направлению CD (ср. с движением брошенного тела, § 168), а затем внутри тела по направлению DE (рис. 376). Притяжение влияет только на ту составляющую скорости, которая перпендикулярна к преломляющей поверхности. Если взять FC — ZG , то AC и DE будут расстояния, проходимые в равные промежутки времени. Если бы это объяснение было правильно, то скорость света в более плотной среде должна была бы быть больше. Но Фуко показал, что скорость света в воде меньше, чем в воздухе (§ 288).

398. Главная трудность в теории Ньютона заключается в том, что отражение объясняется отталкиванием, а преломление—притяжением. Таким образом, тело, одновременно отражающее и преломляющее свет, по этой теории должно было бы некоторые частички отталкивать, а другие притягивать.

Ньютон старался устранить это затруднение предположениемъ, что световой луч содержит частички двух различных видовъ, из которых одне легче отражаются, а другия легче преломляются. При помощи этого допущения Ньютонъ объяснял также происхождение так называемых цветов тонких пластинокъ. Цвета эти, которые можно прекрасно наблюдать на мыльных пузыряхъ, были известны уже Бойлю и Гуку. Сталь после нагревания, т. е. покрытая тонким слоемъ окиси, тоже дает эти цвета. Затем их можно также наблюдать, когда луч света падает на воду, поверхность которой покрыта тонким слоем масла.

Для получения этих цветов Ньютон пользовался следующим приборомъ. На стеклянную пластинку накладывалась плосковыпуклая чечевица малой кривизны. Промежуток между линзой и пластинкой представлял в таком случае узкое пространство в виде клина, занятое воздухомъ. Посредине чечевица касалась стеклянной пластинки, начиная же с этого места, во все стороны толщина воздушного слоя постепенно увеличивалась (рис. 377).

Направляя на эти стекла монохроматический светъ, напримеръ, красный, такъ, чтобы, отразившись, он попадал в глаза, Ньютон наблюдал по середине темное пятно, окруженное светлыми и темными кольцами

рис 377

попеременно. Если на стекла направлялся белый светъ,

C₁

то середина оставалась темной, но кольца вокруг нея были цветныя.

В проходящем свете середина казалась светлой и окруженной темными и светлыми кольцами, при чемъ светлыя кольца находились тамъ, где раньше были темныя, и наоборотъ. При употреблении монохроматического света красное кольцо появлялось в том месте, где раньше было зеленоголубое, т. е. цвета в том и другом случае дополняли друг друга.



Ньютоновы цветныя кольца.

Ньютону с самого начала было ясно, что явления этих цветов обуславливаются слоем воздуха. Онъ наполнял пространство между линзой и стеклянной пластинкой водою и кольца получались такія же, как и в воздухе, только значительно меньших размеровъ.

399. Ньютонъ объяснял образование этих колец допущениемъ, что световыя частички в луче находятся в различных состоянияхъ, так что одне из нихъ отражаются, другия же преломляются. Если вообразить себе световыя частички въ луче в виде нитки жемчуга, то можно представить, что отдѣльныя жемчужины—то въ одномъ, то в другомъ состоянii—чередуются друг с другомъ попеременно. Нужно также принять, что одна и та же световая частичка находится то в одномъ, то въ другомъ состоянii. Происхождение Ньютоновыхъ цветныхъ колецъ объясняется въ такомъ случае следующимъ образомъ. Монохроматический светъ, падая на линзу въ точке соприкосновения, не отражается, а проходитъ дальше. Светъ же, не проходящий черезъ эту точку, либо отражается отъ пластинки, пройдя слой воздуха, либо вступаетъ в нее. Будетъ ли имѣть место то или другое, зависитъ отъ состоянii, в которомъ световая частичка достигаетъ пластинки. Если она доходитъ до нея в „состоянii отраженiя“, то она отражается, если же, наоборотъ, в „состоянii преломленiя“, то

она преломляется. Если световая частичка, встречающая пластинку на известном расстоянии от точки соприкосновения, отражается, то и следующая световая частичка в том же луче тоже отражается, так как достигает пластинки тоже в состоянии „отражения". Перемена состояния происходит именно в момент встречи с пластинкой. То же самое происходит со следующей световой частичкой в луче. Таким образом, в соответственном месте пластинки свет непрерывно отражается и то же происходит во всех точках, находящихся на одинаковом расстоянии от средней точки. Свет, отраженный от всех этих точек, образует светлое кольцо. Состояние, в котором световая частичка достигает пластинки, зависит, очевидно, от толщины воздушного слоя.— Световая частичка, встречающая пластинку на более далеком расстоянии от средней точки, должна пройти через более толстый слой воздуха. Световые частички достигают пластинки в „состоянии преломления" и поэтому вступают в нее. За светлым кольцом следует поэтому темное, за ним снова светлое и т. д. То же объяснение имеет место и для колец в проходящем свете. Темному кольцу в отраженном свете соответствует светлое кольцо в проходящем свете и наоборот.

400. Если на линзу падает не монохроматический свет, а белый, то световые частички различных цветов меняют свое „состояние" не в одно и то же время. Мы видим поэтому не светлые и темные кольца, последовательно идущие одно за другим, а кольца различных цветов, так как в том месте, где частички одного определенного цвета отражаются, частички дополнительного цвета вступают в пластинку.

401. Если бы тонкая пленка (воздушный слой) была повсюду одинаковой толщины, то отражался бы только свет определенного цвета. Ньютон был того мнения, что все одноцветные тела сами по себе прозрачны. Если же они иногда бывают непрозрачны, то причина этого заключается в том, что внутри тела существуют промежутки, наполненные воздухом (поры). Но самая поверхность такого непрозрачного тела состоит из тонких листочков, которые, смотря по своей толщине, отражают тот или другой цвет, и цвет стекла есть не что иное, как „отражательный цвет" этих тонких листочков.

402. В этих запутанных соотношениях Ньютон видел подтверждение своего допущения о периодическом изменении состояния световых частичек. Невольно возникает вопрос, удовлетворяла ли вполне эта гипотеза самого его основателя, на что с уверенностью можно ответить отрицательно. Тем не менее для объяснения опыта Гримальди Ньютон приписывал световому лучу еще другие весьма удивительные свойства. Мы ограничимся тем, что было сказано относительно Ньютоновой теории света, и не станем говорить подробнее о его взглядах относительно искривления лучей (дифракции) и взаимного влияния двух световых лучей. Ньютонова теория света называется теорией истечения (теория эманации, теория световых телец), так как она предполагает, что светящееся тело испускает маленькие материальные тельца (*corpuscula*).

В настоящее время мы достоверно знаем, что допущение Ньютона было неверно. Свет не состоит из материальных частиц, испускаемых источником света,— он представляет собою волнообразное движение, как об этом догадывались Гримальди и Гук.

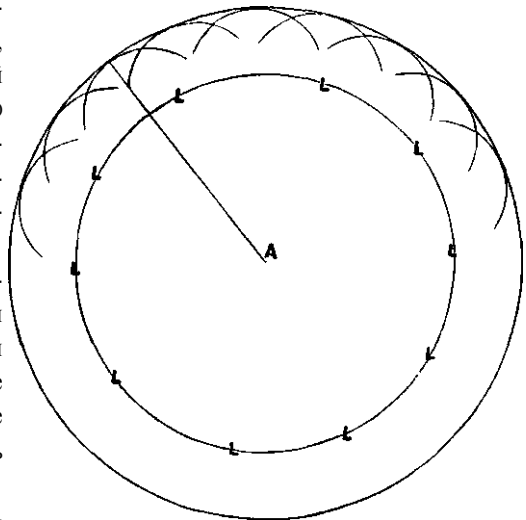
403. Впервые эта так называемая волнообразная теория света была ясно и исчерпывающим образом изложена Хр. Гюйгенсомъ. Его труд об этомъ предмете появился в печати в 1690 году и еще в 1678 году был сообщенъ Парижской Академии. Ньютонъ был знакомъ с нимъ, но не мог решиться отказаться отъ теории истечения и перейти к волнообразной теорш. Это обстоятельство очень неблагоприятно новлияло на дальнейшее развитие теории света, так как ученики Ньютона упорно держались теории своего великого учителя. Таким образомъ, Ньютонъ, говоривший: „я не создаю гипотезъ“, благодаря своему отрицательному отношению к Гюйгенсовой волнообразной теории стал причиной тою, что теория истечения была возведена в догматъ.

404. Теория света Гюйгенса въ кратких чертахъ сосюит в следующемъ. Вся вселенная заполнена чрезвычайно тонким и подвижным веществивомъ, так называемым эфиромъ. Он проникает все тела и находится всюду. Мировое пространство представляеть собой как бы огромное море эфира. Если в какомъ-либо меств этого моря происходит нарушение равновесия, то от этого меств расходятся сферическия волны эфира, подобныя кругам от брошенного в воду камня (ср. § 349). Волнообразное движение эфира обусловливается колебаниями его частичек так же, какъ воздушныя волны—колебаниями частицъ воздуха (§ 343).

То, что мы называем светомъ, есть, согласно Гюйгенсу, волнообразное движение эфира и светящееся тело приводит частички эфира в колебания, распространяющияся по всей вселенной в форме волнъ. Когда такая волна эфира попадает в глазъ, частички эфира поражают зрительный нерв и вызывают ощущение света.

405. Если светящаяся точка испускает свет по всем направлениямъ, то это означаетъ, что нарушение равновесия эфира, вызванное светящейся точкой, распространяется по всем направлениямъ. Рис. 378 Пусть *A* на рис. 378

будет светящаяся точка. Если световая волна, исходящая из *A*, в определенный момент доходит до точек *LL*, то частички эфира в этих точках произведут все одновременно точно такія же движения, какія совершала первоначально частичка в точке *A*. Можно поэтому разсматривать частички эфира в *LL*, как исходныя точки новых волнъ, которыя спустя короткое время образуют маленькые круги с центрами в точках *LL*. Все эти малыя волны вместе образуют одну большую, объемлющую волну, поверхность которой будет концентрична с поверхностью волны *III*.



Всякая прямая, исходящая изъ *A*, т. е.

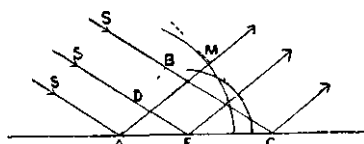
Начало Гюйгенса

всякий радиус сферической волны, называется лучомъ. Когда волна отходит далеко

от точки A , малую часть ее можно разсматривать, как плоскость. Этой малой части поверхности волны соответствует известное количество лучей, которые можно считать параллельными. Поверхность волны параллельных лучей есть плоскость, перпендикулярная к направлению лучей.

406. Закон отражения Гюйгенс выводил из своей волнообразной теории следующим образом. Пусть SS^1 (Рис. 379) будет пучок световых лучей, падающих на отражающую стеклянную поверхность. Поверхность волны перпендику-

Рис. 379 лярна к направлению лучей, которые поэтому



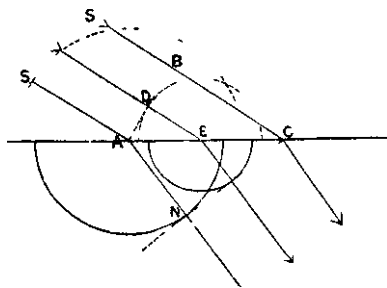
Отражение

достигают отражающей поверхности не одновременно. Луч SA доходит первым, луч SB последним. В тот момент, когда SA достигает отражающей поверхности, A становится исходным пунктом новой волны, распространяющейся отчасти в воздухе, а отчасти в стекле (в виде полусферы). Пока луч SB про-

ходит расстояние от B до C , волна, исходящая из A , распространяется на такое же расстояние, т. е. когда движение из B дошло до C , она образует сферическую поверхность, радиус которой AM равен BC . Другой луч SDE даст волну вокруг E и I . д. Пучок световых лучей образует, таким образом, ряд сферических волн, дающих вместе в тот момент, когда SB доходит до C , плоскую волну CM , распространяющуюся дальше таким же образом, как и падающая плоская волна AB . А так как направление лучей перпендикулярно к поверхности волны, то от отражающей поверхности идет пучок лучей, образующих с нею такой же угол, какой образует падающий пучок лучей (треугольники ABC и AMC при наложении совпадают). Угол отражения, следовательно, равен углу падения (ср. § 350).

Из точки A (рис. 380) идет также сферическая волна в стекло. Но скорость этой волны иная, чем в воздухе. Гюйгенс принимает, что плотность ε ира в стекле больше, чем в воздухе, и поэтому скорость распространения волны в стекле меньше. Отсюда, очевидно, вытекает, что радиусы волн, исходящих от точек

Рис. 380 отражающей поверхности, меньше радиусов со-



Преломление перпендикулярно к линии фронта. В этом

ответствующих волн, идущих в такое же время от этих точек в воздухе. Вследствие этого волн в стекле дают плоскую волну CN (рис. 380), которая распространяется далее так, что направление лучей есть AN .

Изменение направления лучей при переходе света из воздуха в стекло может быть наглядно пояснено следующим сравнением. Представим себе отряд солдат, марширующих

между воздухом и стеклом, будет соответствовать граница между ровным, твердым грунтом и более рыхлым, например, свежеспаханным полем. На твердом грунте солдаты будут двигаться, конечно, быстрее.

случае преломляющей поверхности, т. е. границе

Если граница грунтов образует угол с линией фронта, то солдаты передняго ряда вступят на вспаханное поле не одновременно. Вследствие этого и линия фронта и направление марша изменятся. Величина угла, образуемого новым направлением со старымъ, будетъ зависеть от отношения скоростей на твердом и на рыхлом грунте. Точно так же величина преломления зависит от разницы в плотности эира в воздухе и в другом веществе. Чем больше эта разница, темъ сильнее преломление.

407. Слабое место труда Гюйгенса заключалось в отсутствии в нем объяснения происхождения цветовъ. Это, без сомненения, и было одним из оснований, по которым Ньютон отнесся к волнообразной теории отрицательно. Кроме того, он был противником теории Гюйгенса потому, что считалъ, будто эиръ, какимъ бы подвижнымъ он ни былъ, должен был бы заметно замедлять движения небесных тель.

Эти затруднения были разъяснены Леонардом Эйлером (II, § 230) в 1768 году, 41 год спустя после смерти Ньютона. Эйлер возставал вообще против всей теории истечения. По его мнению, еслибы солнце действительно испускало материальное световое вещество, то масса его должна была бы постепенно уменьшаться. Затемъ, он не мог представить себе, как световыя частички пробегают пространство между солнцем и звездами, не сталкиваясь и не изменяя своего направления. Но труднее всего, по его мнению, было согласовать теорию истечения съ тем фактомъ, что существуют совершенно прозрачныя тела. Если свет есть нечто материальное, то световое вещество должно проходить сквозь прозрачныя тела, а такъ какъ эти тела пропускают свет по всем направлениямъ, то в них должны существовать поры по всем направлениямъ, а между тем есть и плотныя прозрачныя тела. Эйлеръ писал свои статьи в форме писем к одной немецкой принцессе и закончил свою беседу о теории истечения следующими словами: „я думаю, что приведенные доводы могут убедить Ваше Высочество в томъ, что теория истечения не встречает никакого подтверждения в природе, и Ваше Высочество наверное будет удивляться тому, что подобное учение могло быть создано таким великимъ гением (как Ньютонъ) и принято столь многими мыслителями с ясным умомъ. Однако, уже Цицеронъ сказалъ, что ничего нельзя представить себе столь страннаго, чего бы не взялся утверждать какой-нибудь философъ. Но я, с своей стороны слишком мало философъ, чтобы разделять это воззрение на природу света“.

Возражение Ньютона, что эир должен был бы мешать движению небесных тель, можно было бы привести, указывал Эйлеръ, с таким же успехом и против светового вещества, так как пространство, в котором движутся планеты, вовсе не остается пустым и по Ньютоновой теории истечения. Напротивъ того, оно наполнено частицами света, которыя летят во все стороны с невероятной скоростью 40000 миль в секунду и могут мешать бегу планет по меньшей мере в такой же степени, как и эиръ.

Эйлер считал огромную скорость света более понятной при допущении, что свет есть волнообразное движение в легко подвижном эире, чем въ предположении, что пространство наполнено материальными частичками, обладающими такой скоростью. Из учения о звуке (ср. § 346) ему было известно, что въ упругом теле колебания распространяются очень быстро. Если эир значительно тоньше

и подвижнее воздуха, ТО волны э ира могут распространяться значительно быстрее, чем звуковыя волны. „Мы ведь знаемъ, что скорость звука темъ больше, чемъ меньше плотность воздуха... Если мы вообразимъ себе воздухъ достаточно легкимъ и упругимъ, ТО можно представить себе, что скорость звука достигнетъ скорости света". Трудно было бы также гноть, какимъ образомъ глазъ могъ бы переносить удары этихъ стремительно несущихся световыхъ частицъ.

Большое значение имело ТО обстоятельство, что Эйлеръ в томъ же письме къ немецкой принцессе далъ объяснение происхождению цветовъ на основании волнообразной теории. Онъ сравниваетъ цвета съ тонами. Относительно последнихъ ему было известно, что высота тона находится в зависимости отъ числа его колебаний (§ 336). Высокие тоны соответствуютъ большему числу колебаний, низкие — меньшему. Эйлеръ предположилъ, что различные цвета находятся между собой в такомъ же отношении, какъ и различные звуки. Какъ звукъ, светъ состоитъ изъ колебаний, одинъ — изъ колебаний воздуха, другой—э ира, и всякому цвету, такъ же, какъ и всякому звуку, отвечаетъ определенное число колебаний.

Какъ можно измерять число колебаний световыхъ лучей, будегъ объяснено ниже (§ 410). Здесь же мы проследимъ дальнейпия разсуждениа Эйлера относительно цветовъ.

Если на тело падаетъ лучъ света и оно становится свѣтящимся, ТО это, по мнѣнию Эйлера, происходитъ не потому, что тело отражаетъ свѣтъ. Влияние лучей выражается в томъ, что поверхность тела начинаетъ колебаться. Движение частичекъ э ира сообщается частицамъ тела, расположеннымъ на поверхности. Эйлеръ разсматриваетъ поверхность тела, какъ струнный инструментъ, струны котораго приводятся в движение волнами э ира (ср. § 355). Если подобная „струна поверхности" натянута такъ, что колеблется в тактъ съ краснымъ цветомъ, ТО поверхность тела мы называемъ красной. Чтобы сделать красное тело свѣтящимся, необходимъ красный свѣтъ, такъ какъ только онъ можетъ привести в движение поверхность красного тела. Светъ другого цвета, т. е. с другимъ числомъ колебаний, не можетъ привести в колебание эту поверхность. В солнечномъ свѣтѣ, говоритъ Эйлеръ, должны содержаться все цвета, такъ какъ онъ освѣщаетъ все тела, каковаго бы ТО ни было цвета. Скорости колебаний Эйлеръ не могъ указать. То, что онъ высказывалъ, было, следовательно, только гипотезой. В настоящее время нетрудно доказать справедливость этой гипотезы.

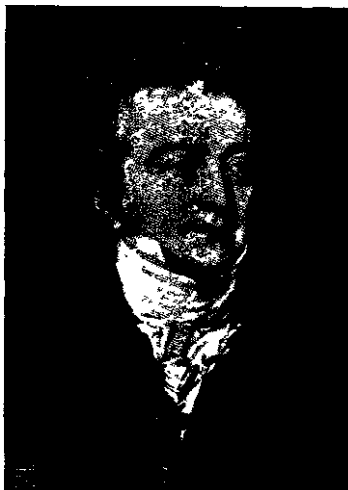
408. Но авторитетъ Ньютона былъ такъ великъ, что теорія истечения сохранила свое господство до начала XIX столѣтيا. Этотъ спорный вопросъ былъ снова поднятъ Томасомъ Йонгомъ в 1800 г. в *Philosophical Transactions*, органѣ Королевскаго Общества. Йонгъ родился в 1773 г. в Мильвертоне. Родители его жили бедно и принадлежали къ секте квакеровъ. Благодаря поддержкѣ своего деда онъ посещалъ университеты в Лондонѣ, Эдинбургѣ и Гёттингенѣ. Онъ изучалъ преимущественно медицину, но занимался также физическими и филологическими вопросами. От 1801 до 1804 г. онъ былъ профессоромъ в *Royal Institution* (Королевскомъ Институтѣ). Онъ оставилъ это место, чтобъ посвятить себя всецело врачебной деятельности. Но более склонный къ чисто научнымъ работамъ, онъ снова увлекся филологией и физическими науками, къ которымъ питалъ и раньше большой интересъ. Какъ филологъ, онъ составилъ ключъ къ чтению иероглифовъ, в качестве

же физика он дебютировал статьей о звуке. Здесь ему пригодились его медицинские познания и его тонкое понимание музыки. С 1818 г. он заведывал изданием „Морского альманаха“ (Nautical Almanac). Он умер в 1829 г. Исследования Йонга относятся

Рис. 381

ко всем областям физики. Один его соотечественник написал о нем следующее: „Его талант был велик, его работоспособность неутомима, его образ жизни безупречен, к своей религии он был строг, но терпим“.

409. Статья Йонга, относящаяся к 1800 г., трактовала о звуке и свете. Он обратил внимание на два слабых пункта в Ньютоновой теории света. Трудно понять, говорит он, какое объяснение может дать теория истечения тому факту, что свет из различных источников распространяется с одинаковой скоростью. Как возможно допустить, что все источники света, как бы они ни были различны, испускают частицы света одной и той же скорости. Так же мало со-Томас Йонг. глашался Йонг и с Ньютоновой теорией



периодических превращений световых частичек в луче (§ 399), а без этих превращений теория истечения не могла объяснить того явления, что один и тот же луч частью отражается, частью преломляется. Волнообразная теория, напротив того, объясняла эти явления удовлетворительно.

Наиболее важным в этой статье было объяснение происхождения Ньютоновых цветных колец интерференцией волн. Две волны могут усиливать и ослаблять одна другую. Если они имеют одну и ту же длину, то больше всего усиливают друг друга тогда, когда разность хода волн равна четному числу полуволн, и больше всего ослабляются, когда эта разность равна нечетному числу полуволн (ср. § 354).

В своей статье, относящейся к 1800 г., Йонг объяснял происхождение Ньютоновых цветных колец следующим образом. Если монохроматические лучи sa (рис. 382) падают на тонкую пластинку, то луч sa отклоняется к b , отражается затем к c и при выходе из пластинки преломляется еще раз, так что выходит по направлению cd . Частичка луча sc отражается от поверхности пластинки в направлении cd . Таким образом, луч cd является как бы двойным лучом, т. е. по направлению cd идут две волны, из которых каждая прошла свой особый путь, одна — путь $sadcd$, другая — scd . Если разность этих путей равна четному числу полуволн, то эти два луча взаимно усиливаются; если же разность составляет нечетное число полуволн, то лучи взаимно ослабляются. Если же обе волны одинаково сильны, то в последнем случае они уничтожают друг друга совершенно и по направлению cd движения не происходит вовсе, а потому нет и никакого распространения света.

Эти соображения, очевидно, легко приложимы к опыту Ньютона (§ 398, рис 377). Здесь тонкой пластинкой является слой воздуха между линзой и стеклянной пластинкой. Световые лучи идут по пути, указанному на рис. 382. Разность хода их равна двойной толщине слоя воздуха. Но так как последняя возрастает от середины к краямъ, то отраженный свет будет состоять то из таких волнъ, которыя усиливают друг друга, то из волнъ, которыя ослабляют друг друга. Таким образомъ, вокруг темного пятна в середине линзы будут видны попеременно светлыя и темныя кольца.

Что такое же явление должен давать также СВБТЪ, проходящий сквозь линзу, слой воздуха и стеклянную пластинку, ясно из рис. 383. Лучи *Sabcde* и *Scde* оба выходят въ направлении *de* и должны, смотря по обстоятельствамъ, усиливать и.ш. ослаблять друи друга — Сравнивъ два рисунка 382 и 383 легко увидеть, что раз-

Рис 382

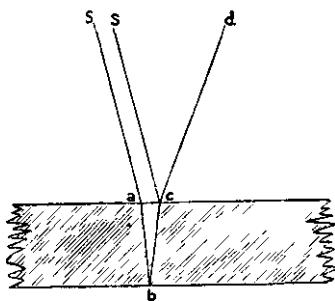
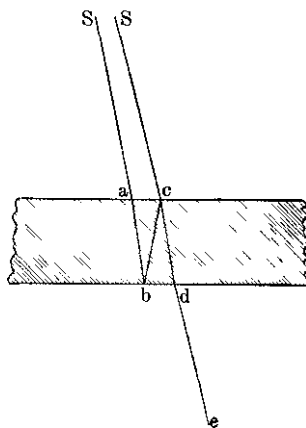


Рис 383



Объяснение Ньютоновыхъ цветныхъ колецъ по Йонгу.

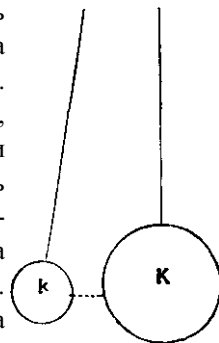
ность хода этих лучей одна и та же в обоих случаяхъ. Таким образомъ, можно думать, что интерференция (усиление или ослабление) будеъ одна и та же въ обоихъ случаяхъ. На самом деле, однако, отраженные лучи взаимно усиливаются тамъ, гдѣ проходящие лучи ослабляют друг друга, и наоборотъ. Йонгъ нашел причину и этого явления. Именно, если волна эира отражается более плотнымъ оптически веществомъ, т. е. если волна эира переходит из вещества, в коиором эиръ имеет меньшую плотность, в такое вещество, в котором эиръ плотнее, то частица эира теряет полуволну.

Это согласуется с явлениями удара упругих шаровъ. Когда частица эира в своем колебательномъ движении ударяется о другую частицу эира в какомъ-нибудь теле, в котором плотность эира больше, то здесь происходит то же, что имеет место при ударе меньшого шара о больший: меньшій шар не оканчивает своего колебания, а отбрасывается, другими словами — он теряет полуволну (ср. рис. 338, I).

При образованш Ньютонovýchъ колец и происходит такое отбрасывание — на рис. 382 в точке *z*, а на рис. 383 в точках *b* и *c*. Таким образомъ, въ отраженном свете луч теряет одну полуволну, а в проходящем две полуволны.

Значить, тамъ, где отраженные лучи взаимно уничтожаются, проходящие лучи должны усиливать друг друга.

410. Эти соображения справедливы для монохроматического света.—Ньютоновы кольца дают Иакже средство измерить длину волны света. Предположимъ, что наш опыт производится с красными лучами и чио мы, со-^{Рис 384} Иласно указанию Ионга, разсматриваемъ два последовательныхъ кольца. Слой воздуха на мѣсте внешнего из этих двухъ колец должен быть на половину длины волны красного цвета толще, чем слой воздуха на месте внутреннего кольца. Именно, в этом случае лучи, образующие внешнее кольцо, должны быть въ том же состоянии интерференцш, как и те, которые образуют внутреннее кольцо. Так как светъ должен пробежать слой воздуха взад и впередъ, ТО пройденный им путь станет больше на целую длину волны, когда голщина слоя воздуха увеличится только на одну полуволну. Но если волна смещается в направлении своего движения на длину одной волны, ТО гребни и долины волн после смещения будут находиться на тех же местахъ, на которыхъ Потеря полуволны. они находились до смещения.



Но Ньютонъ точно измерил толщину воздушного слоя въ свеилыхъ и Иемных местахъ и Йонгъ сейчас же мoin определить и длину волны. — Разумеется, чю такимъ же образомъ, какимъ определяется длина волны красного цвета, можно определить длину волны и всякого другого цвета.

Если известна величина длины волны и если извъстно, с какою скоростью распространяется волнообразное движение (въ данномъ случае это — скорость света), ТО можно вычислить число колебаний частицы эира, принимающей участие в этомъ движенш. Именно, скорость равна произведению длины волны на число колебаний (§ 341); такимъ образомъ можно получить число колебаний, разделив скорость на длину волны.

Но лучи различныхъ цветовъ распространяюися все с одною и Иою же скоростью, около 300000 км (ср. § 287). Для средних лучей различныхъ цветовъ длины волн (в долях миллиметра) и числа колебаний даны въ следующей Иаблице:

	Длина волны		Число колебаний
Красный	0000620	Красный	500 биллионовъ
Оранжевый	0Ю00583	Оранжевый	532
Желтый	0000551	Желтый	562
Зеленый	0-000521	Зеленыи	595
Синий	0000475	Синий	653
Фиолетовый	0000423	Фиолетовый	733

Красные лучи имеои наибольшую длину волны и наименьшее число колебаний, фиолетовые — наименьшую длину волны и наибольшее число колебаний. Цвета видимого солнечнаго спектра лежать в пределах приблизительно одной октавы,

т. е. число колебаний крайних фиолетовых лучей превышает число колебаний крайних красных лучей приблизительно вдвое.

411 Этим Йонг доказал справедливости Иипотезы Эйлера, что каждый цвет имеет определенное число колебаний, подобно тонам. Но, как легко себе представишь, он очень желал найти подтверждение своей теории каким-нибудь другим путем. Это и удалось ему при помощи явления диффракции. Йонг обратывал тень узкого экрана M (рис. 385) на больший экран N . Если бы свет распространялся прямолинейно, то экран M отбрасывал бы тень ab . Но, как показал Гримальди, свет отклоняется от прямолинейного пути (§ 393) и при монохроматическом свете B в

Иони замечаются светлые и темные по-

лосы. Йонг объяснял эти полосы интерференцией световых волн. По середине тени видна светлая полоса. Све-

товые волны от краев экрана до этого места проходят одинаковое расстояние.

Поэтому они приходят в него в одинаковой фазе и усиливают друг друга.

Итак по обе стороны этой светлой полосы лежит по темной полосе, так

как из этих мест расстояние до одного края экрана на одну полуволну больше расстояния до другого края. Поэтому лучи приходят сюда в противоположных фазах и ослабляют друг друга. Затем идут две светлых полосы, именно там, где разность хода равна целой длине волны и где лучи поэтому усиливают друг друга и т. д. Таким образом, образование этих полос совершенно объясняется при помощи интерференции. Измерив расстояние между двумя светлыми полосами в тени и зная расстояние экрана M , отбрасывающего тень, от экрана N , Йонг мог вычислить разность хода данных лучей, а, значит, и длину волны. Таким образом, эти опыты являлись контролем тех результатов, которые были выведены из явления Ньютоновых колец. Если производить этот опыт не с монохроматическим светом, а с солнечным, то вместо темных и светлых полос появятся цветные. Средняя полоса и в этом случае будет белой, так как различные цветные лучи солнечного света достигают этой середины в одинаковой фазе и потому усиливают друг друга. Непосредственно около этой средней полосы уничтожаются прежде всего фиолетовые лучи, затем синие, потом зеленые и т. д. Вследствие этого на соответственных местах появятся дополнительные цвета фиолетового, синяго, зеленого и т. д. Эти цвета образуют так называемый диффракционный спектр.

412. Работы Йонга, однако, не встретили благоприятного приема. Один молодой английский физик подверг их уничтожающей критике, а старшие современники Йонга не хотели знакомиться с его теорией, так как она была сформулирована очень коротко и неудобопонятно. Йонг затруднялся также объяснить посредством интерференции, каким образом получаются Ньютоновы кольца в проходящем свете. А так как, кроме того, он не мог объяснить нового открытия,



N



M

I

И:

b

которое сделал в 1810 году французский физик Этьенн Малюс, И он и сам начал сомневаться в верности своей теории.

413. Малюс (1775—1812) был военный инженер и в чине капитана был с Наполеоном в Египте. В 1809 году он сделался преподавателем Политехнической школы в Париже, учеником которой он был и сам.

Своей славой физика Малюс обязан открытию, сделанному им во время работы над одной задачей о двойном преломлении света, предложенной на премию французской Академией. — Он делал опыты с известковым шпатом (§ 395) и случайно взглянул через пластинку известкового шпата на Люксембургский дворец, в окнах которого отражалось заходившее солнце. К своему изумлению Малюс увидел сквозь свою пластинку только одно изображение окон дворца. Вообще же предметы представлялись сквозь эту пластинку двойными. Так как здесь, очевидно, дело шло об отраженном свете, то для выяснения вопроса Малюс стал отбрасывать свет пламени на стеклянную пластинку или на поверхность воды и рассматривал этот отраженный свет сквозь пластинку известкового шпата. Он нашел, что при одном определенном положении этой пластинки отраженный свет не претерпевает двойного преломления. При вращении пластинки двойное преломление обнаруживалось и два изображения обыкновенно были не одинаково ярки. Только в одном определенном положении эти изображения имели одинаковую яркость.

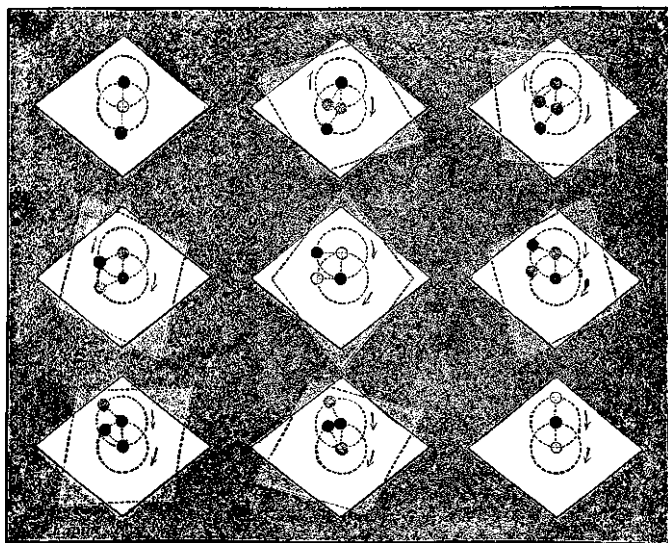
Это явление чрезвычайно напоминало другое, наблюдавшееся Гюйгенсом при рассматривании темной точки на белой пластинке сквозь две пластинки известкового шпата. Сквозь одну такую пластинку эта точка представлялась двойной. Одно изображение было образовано обыкновенными лучами, другое — необыкновенными. Эти два рода лучей проходили затем и сквозь вторую пластинку. Если эта вторая пластинка находилась в таком же положении как и первая, то и те и другие лучи проходили сквозь нее, не разделяясь. Обыкновенный луч выходил и из второй пластинки обыкновенным, а вышедший из первой пластинки необыкновенный луч проходил вторую пластинку тоже, как необыкновенный. Но при вращении второй пластинки и те и другие лучи разделялись и появлялось четыре изображения темной точки.

Этот опыт поясняется рис. 386. Сначала две пластинки известкового шпата находятся в одинаковом положении и потому видно только два изображения. Затем верхняя пластинка повернута и мы видим четыре изображения, сначала, однако, неодинаковой яркости. После поворота на 90° видны только два изображения, при дальнейшем же вращении их опять появляется четыре. Если пластинка повернута на 180° и если обе пластинки одинаковой толщины, то будет видно только одно изображение.

414. Этот опыт ясно показывает, что свет, пройдя сквозь пластинку известкового шпата, приобретает своеобразные свойства, которых у обыкновенного света нет, так как последний в известковом шпате всегда преломляется двойно, если только он не идет в направлении оптической оси (§ 395). Более точное исследование можно произвести следующим образом. Луч света b (рис. 387) падает на пластинку известкового шпата A , главная ось которой совпадает с плоскостью рисунка, и разделяется на два луча S_1 и S_2 . Один из этих двух лучей, b_2 , удерживается экраном, а другой S_1 (необыкновенный луч) проходит сквозь

отверстие в экране M_1 и падает на вторую пластинку B известкового шпата. Последняя, вообще говоря, разделяет луч S_1 на два луча S_3 и S_4 , падающие после прохождения сквозь собирающее стекло L , на экран M_2 в точках F и T . Если вращать пластинку B , то луч S_1 не подвергается двойному преломлению во второй пластинке, когда главные сечения этих двух пластинок лежат в одной и той же плоскости. Когда эти главные сечения образуют друг с другом угол в 45° ,

Рис. 386

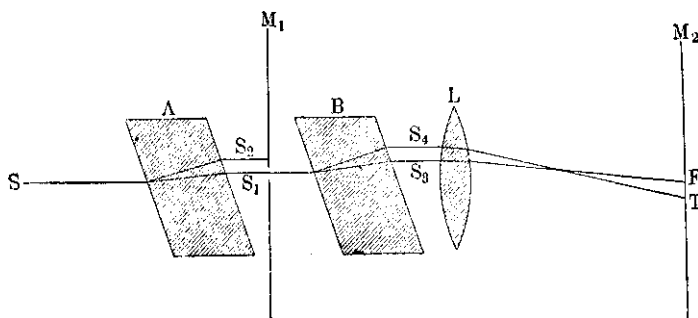


Двойное преломление в известковом шпате.

то два изображения имеют одинаковую яркость, а когда главные сечения составляют между собою прямой угол, то луч S_1 совсем не раздваивается.

Если задержать экраном M_1 луч S_1 и пропустить луч S_2 (обыкновенный),

Рис. 387



Двойное преломление в известковом шпате.

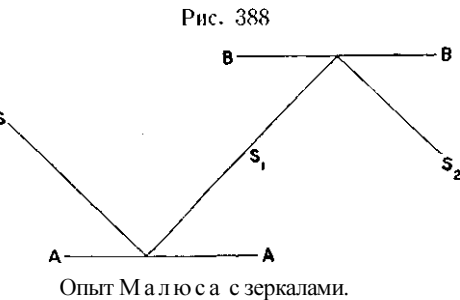
то пластинка известкового шпата окажет и на этот луч такое же действие. В этом случае также не будет двойного преломления, когда главные сечения обеих пластинок известкового шпата будут лежать в одной плоскости. Не будет двой-

ного преломления и тогда, когда главные сечения будут составлять друг с другом прямой угол. В промежуточных положениях будут получаться два изображения неодинаковой яркости, за исключением того случая, когда главные сечения будут наклонены друг к другу под углом в 45° .

415. Ньютонъ, знавший эти явления, сказалъ, что свет при прохождении сквозь известковый шпат получает различныя свойства по разнымъ сторонамъ своего пути. Малюс примкнул к этому воззрению и назвал лучи, прошедшие сквозь известковый шпатъ, поляризованными лучами. Обыкновенный луч поляризованъ такъ, что проходит сквозь другую пластину известкового шпата необыкновеннымъ, если главное сечение последней пластинки перпендикулярно главному сечению первой. Необыкновенный лучъ, наоборотъ, поляризован такъ, что проходит сквозь другую пластинку обыкновеннымъ, когда главные сечения двух пластинок взаимно перпендикулярны.

Но, как было сказано, Малюс наблюдалъ, что отраженный свет не подвергался двойному преломлению при прохождении сквозь пластинку известкового шпата, если эта пластинка находилась в определенномъ положении. Значитъ, этот светъ должен был быть поляризованнымъ. Таким образомъ, светъ претерпевает такъ называемую поляризацию не только при прохождении сквозь известковый шпат (или сквозь другой двупреломляющий кристаллъ), но и при отражении.

Малюс произвел с поляризованным светом целый ряд очень интересных опытов. Пропуская луч света, отраженный от зеркала *A* (рис. 388) и, следовательно, поляризованный, на второе зеркало, параллельное первому, он нашелъ, что этот луч отражался вторым зеркалом обыкновенным образомъ. Тогда он построил приборъ (рис. 389), который при помощи вращения позволял давать второму зеркалу всевозможныя положения. Если это зер-



кало устанавливалось такъ, что плоскости падения обоих лучей были взаимно перпендикулярны, то свет не отражался от второго зеркала. Если эти две плоскости составляли угол менее 90° , то световой луч отражался отчасти, т. е. он терялъ при отражении часть своей яркости. Металлическия зеркала для этого опыта не годятся. Лучше всего здесь простыя стеклянныя пластинки.

Затем Малюс пускалъ на зеркало луч света, прошедший сквозь пластинку известкового шпата. Если главное сечение этой пластинки стояло перпендикулярно к плоскости зеркала, то обыкновенный луч отражался, а необыкновенный не отражался. Наоборотъ, если главное сечение пластинки было параллельно плоскости зеркала, то необыкновенный луч отражался, а обыкновенный не отражался. Эти два луча, обыкновенный и необыкновенный, как говорятъ, поляризованы во взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ.

Позднее Малюс показалъ, что и при обыкновенном преломлении, напримеръ, в стекле, преломленный луч также поляризован и притом перпендикулярно къ отраженному лучу. Луч света *S*, падая на стеклянную пластинку (рис. 390), частью

входит в стекло, а частью отражается от него. Эти два луча, на которые разлагается падающий лучъ, поляризованы и притом перпендикулярно другъ к другу.

Если эти два луча, отраженный и преломленный, совершенно поляризованы, то, какъ доказалъ Брустеръ, они поляризованы взаимно перпендикулярно. В этомъ случаѣ падающий лучъ SA образуетъ с перпендикуляромъ в точке паденія уголь

Рис. 389

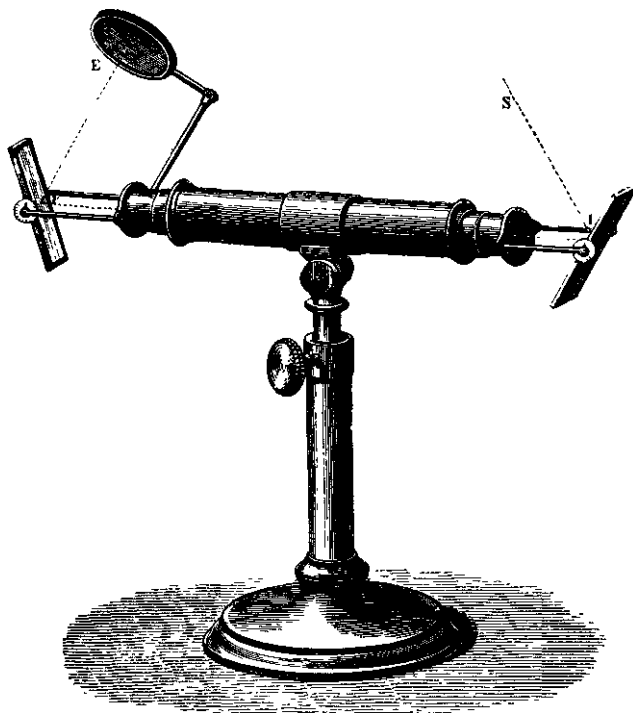
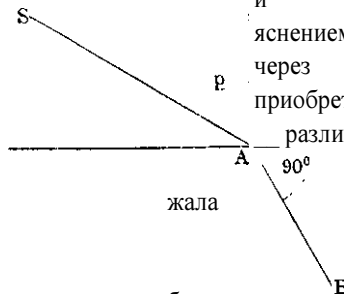


Иллюстрация к опытам Малюса с зеркалами.

определенной величины, так называемый угол поляризации. Для стекла этот угол равен 56° .

416. Какъ было уже упомянуто, Ионгъ не сумелъ объяснить поляризации при помощи волнообразной теории

рис. 390
и Малюсъ удовольствовался объяснениемъ Ньютона, что, пройдя через известковый шпатель, светъ приобретаетъ разныя свойства въ различныхъ направленияхъ.
Волнообразная теория одержала полную победу надъ теорией истечения только после того, какъ опубликовалъ свои знаменитыя работы Огюстен Жанъ Френель.
Уголъ поляризации.



сначала былъ инженеромъ. Потерявъ в 1815 г., благодаря политическому перево-

роту свое место, на которое онъ, впрочемъ, позднее был возвращень, Френель бросился на изучение оптики и стал одним из самых крупных ученых в этой области. К сожалению, он умер уже в 1826 г. в возрасте всего 39 летъ.

Френель основательно переработал волнообразную теорию. В основу своей работы он положил начало, установленное Гюйгенсом (§ 405), что каждую точку поверхности волны можно разсматривать, как исходную точку новыхъ волнь. Он объяснил дифракцию и повторил описанный в § 411 опыт Йонга для определения длины световой волны. Френель поставил этот опыт в такой гениальной форме, что окончательно решил спор о природе света.

Пусть A и B (рис. 391) будут два зеркала, стоящих рядом под угломъ друг к другу приблизительно в 180° . Эти два зеркала отражают светъ, исходящий из светящейся точки или, лучше, рис. 391 линии (щели).

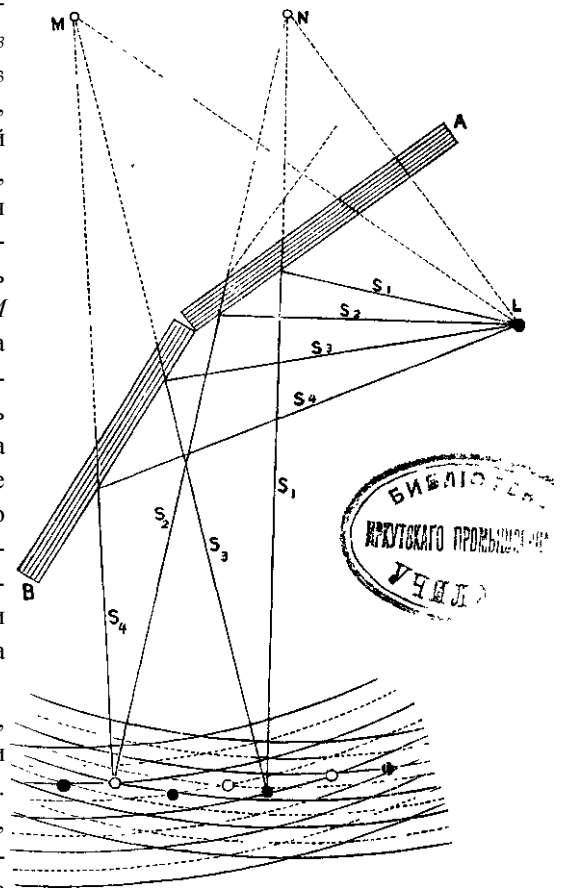
Напримеръ, луч S_1 будет отражаться от зеркала A , луч S_3 от зеркала B . Эти два луча S_1 и S_3 встречаются в определенной точке, но проходят от точки L до этой встречи пути различной длины. Путь, пройденный первым лучомъ, равняется расстоянию точки N от места пересечения лучей, путь, пройденный вторымъ лучомъ, равен расстоянию точки M от названной точки пересечения. Точка N есть изображение точки L в зеркале A , а M изображение точки L въ зеркале B . И если разность хода этих двух лучей составляет нечетное число полуволнь, то эти лучи взаимно уничтожаются. Если же она равна четному числу полуволнь, то лучи усиливают друг друга. На глаз эти лучи будут производить впечатление ряда светлых и темных линий.

Как легко видеть из рис. 391, нетрудно вычислить разность хода и очень точно определить длину волны. Этот опыт так „чистъ“ (ср. II, § 147), что против него едва ли можно что-нибудь возразить. Он имеет огромное преимущество перед опытом Йонга

в томъ, что здесь оба интерфериру-

ющие луча выходят из одного источника света. Этот опыт находит очень простое объяснение в волнообразной теории Гюйгенса, объяснить же его другимъ способом трудно.

417. Френель понял также и природу явлений поляризации. Вместе с Араго



Опыт с зеркалами Френеля.

(§ 286) он нашель, что два световых луча, поляризованных в одной и той же плоскости, могут интерферировать между собою, но два луча, поляризованные въ перпендикулярных плоскостяхъ, не могутъ. Отсюда Френель сдѣлал выводъ, что два луча, поляризованные в перпендикулярных плоскостяхъ, должны имѣть такіа колебания, которыя не действуют друг на друга. — Как же можно представить это? Раніе принимали, что световыя колебания ироисходят в направлении луча подобно тому, как звуковыя колебания происходят в направлении движения звука. Но если такъ, то все световыя лучи могли бы интерферированъ друг с другомъ совершенно такъ, как могут интерферировать все „лучи звука“.—Поэтому Френель

Рис. 392

Огюстен Жанъ_Фрѣн^{ель}.

допустить, что световыя колебания происходят перпендикулярно к направлению луча, что, другими словами, они суть поперечныя колебания, а не продольныя. При этомъ, однако, получалось еще одно большое затруднение: было извесино, что Юперечныя колебания могутъ возникать в твердыхъ, но не в жидких телахъ. А, значить, э ирь, в которомъ происходят световыя колебания, должен быть твердымъ теломъ. Допущение Френеля встретило сильное сопротивление, но оно объясняло поляризацию, а также двойное преломление. Допущение поперечности колебаний, такимъ образомъ, оказалось во всяком случае полезнымъ, но мы должны воздержаться пока от более точнаго представления природы э ира. Уже теперь, впрочемъ, мы можемъ утверждать с полным правомъ, что э ир не есть твердое тело в обычномъ смысле этого слова.

Итакъ, Френель определил разницу между обыкновенным и поляризованнымъ светомъ следующимъ образомъ: в обыкновенномъ свете колебания про-

исходить перпендикулярно къ лучу по всем направлениям (рис. 393), в поляризованномъ же свете только в одномъ определенномъ направлении, перпендикулярномъ лучу (рис. 394).

418. Френель допускалъ, как это раньше делал Ионгъ, что двойное преломление обусловливается неодинаковой упругостью эира въ кристаллах по различнымъ направлениямъ.

Когда световая волна проходит внутри тела, то волнообразное движение происходит в эире, заключающемся в теле. Между частицами тела (молекулами, II

§ 182) нужно воображать себе промежутки, в которых и находится эирь. Когда эир приходит в колебательное движение, то и молекулы не остаются безучастными, — оне также начинают двигаться. В силу этого световая волна теряет часть своей силы, т. е. свет отчасти поглощается теломъ. Но то обстоятельство, что эир расположен въ множестве маленьких промежутковъ, производить одновременно то, что волнообразное

Рис. 393

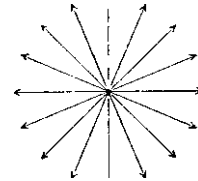


Рис. 394

Поляризован

движение в этом теле распространяется уже не с той скоростью, как въ воздухе. Скорость Найдите луча перпендикулярно к плоскости рисунка.

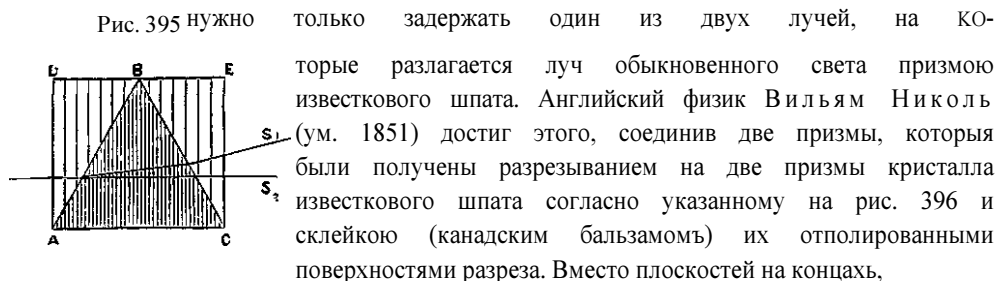
света в твердых и жидких телах меньше его скорости в телах газообразных (§ 288). В некоторых твердых тѣлахъ, коиорыя имеют одинаковыя свойства по всемъ направлениямъ, как и жидкости, колебательное движение эира, т. е. световая волна, распространяется одинаково по всемъ направлениямъ. Эти тела аналогичны стеклу и не даютъ' двойного лучепреломления. Их называют изотропными. Но есть и другия тела, которыя имеют различныя свойства по различнымъ направлениямъ. Таковы кристаллы, не принадлежащие къ правильной системе. К этимъ теламъ принадлежит и известковый шпатъ. Различия свойств кристаллов по разнымъ направлениямъ обусловливаются формою молекулъ, из которыхъ состоятъ эти кристаллы. Допускаютъ, что молекулы имеют ту же форму, какую имеютъ сами кристаллы, построенные на осяхъ неравной длины. Нетрудно представить себе, что в этихъ кристаллахъ по направлениямъ, отвечающимъ ихъ осямъ, существуютъ различныя напряжения и что вследствие этого эир получаетъ разную упругость по различнымъ направлениямъ.

Вследствие этого возникает двойное преломление. Волна падающего луча разделяется на две волны. Колебания одной из этихъ волн идут по тому направлению, по которому упругость эира больше всего, колебания другой волны в направлении, в котором упругость эира меньше всего. Только когда световой лучъ идет по направлению оптической оси, двойного преломления не получается, так какъ в этомъ случае колебания происходят в плоскости, перпендикулярной к оси. А в этой плоскости эир имеетъ везде одинаковую упругость.

Френель показалъ, что стекло также приобретаетъ способность двойного преломления, если подвергнуть его давлению въ одномъ направлении. Призма *ABC* (рис. 395) находится подъ сильнымъ давлениемъ, действующимъ на поверхности *AC* и *DE*. Средняя призма сделана ахроматической при помощи двухъ боковыхъ призмъ *ABD* и *CBE*. Лучъ *S* испытываетъ двойное преломление и разделяется на два луча *S₁* и *S₂*.

Этот опыт подтверждает допущение, что причиной двойного преломления является неодинаковость упругости ε и μ в различных направлениях. В стеклянной призме ABC между частями стекла в направлении давления существует большее напряжение, чем в перпендикулярном к нему.

419. С помощью пластинки дупреломляющего кристалла можно получить световой луч, колебания которого происходят только в одной плоскости. Для этого

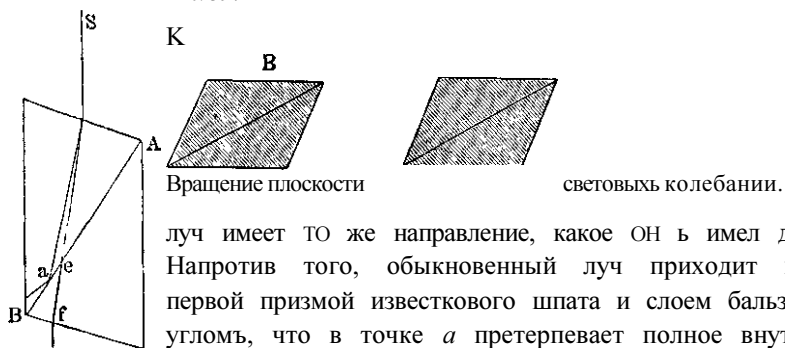


Двойное преломление в под- вергнутом давлению стекле. «П

71°, отшлифовываются новые поверхности под углом в 68° к ребру. Луч света, падая на верхнюю поверхность, разлагается призмой на два луча, обыкновенный и необыкновенный. Последний проходит сквозь слой бальзама в другую призму и выходит из нее в направлении fg . После выхода

Рис. 396

Рис. 397



луч имеет то же направление, какое он имел до входа в призму. Напротив того, обыкновенный луч приходит к границе между первой призмой известкового шпата и слоем бальзама под таким углом, что в точке a претерпевает полное внутреннее отражение.

420. Если поставить две таких Никольевых призмы A и B (рис. 397) одну за другой, то световой луч, пройдя призму A , может вступить в призму B только в том случае, когда главные

Никольева сечения двух призм совпадают. Но если главное сечение одной призмы перпендикулярно к другому главному сечению, то луч не может вступить в призму B (ср. § 413). Николь открыл, однако,

что немного света все-таки проходит, если между этими двумя призмами поместить ИИластинку кварца. Это, очевидно, означает, что плоскость колебаний поляризованного луча, выходящего из первой призмы, при прохождении сквозь кварцевую пластинку слегка вращается, так как, пока колебания происходят в плоскости, определяемой призмой A , они не могут переходить во вторую призму. Такое вращение плоскости поляризации производят многие вещества, между прочим, также

раствор сахара. По величине вращения можно определять количество сахара в растворе.

При обыкновенных условиях пластинка стекла не производит такого вращения. В 1845 г. Фарадэй сделал удивительное наблюдение над вращением плоскости световых колебаний. Он поместил между двумя Николевыми призмами стеклянную пластинку, которая находилась между полюсами сильного электромагнита. Оказалось, что под влиянием магнетизма стекло приобретало способность вращать плоскость колебаний поляризованного светового луча. Таким образом, Фарадэй открыл связь между магнетизмом и светомъ.

Спектральный анализ

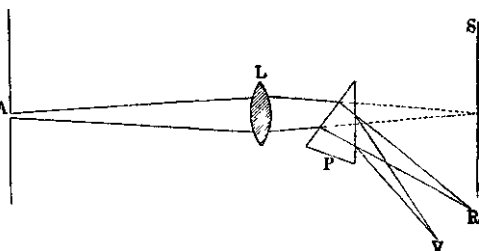


Спектральный анализ

421. Цвета спектра, получаемого при пропускании пучка солнечных лучей сквозь призму, не чисты (ср. § 382). Отдельные цвета налагаются друг на друга и получаются смешанные цвета.

Ньютон понимал, что очень желательно получить чистый спектр, в котором цвета не налагались бы друг на друга. Именно, в чистом спектре можно видеть, существуют ли все переходы цветов от красного до фиолетового или же некоторые из них отсутствуют. Цвета в чистом спектре можно исследовать гораздо тоньше и основательнее, чем в „нечистом“. Ньютон пытался получить чистые цвета следующим образом. Солнечный свет входил в темную комнату сквозь узкую вертикальную щель A (рис. 398). Линза L должна была бы дать резкое и отчетливое изображение рис. 398 щели A на экране S ,

если бы лучи распространялись беспрепятственно. Но позади линзы стояла призма P , отклонявшая и рассеивавшая свет. Красные лучи собирались в R , фиолетовые в V , а остальные между R и V . При достаточно узкой щели каждый отдельный цветной луч даст изображение в виде линии, т. е. получится чистый спектр.



Чистый спектр Ньютона.

422. Ньютон догадывался, что чистый спектр будет играть роль в физике будущего. Он писал: „несомненно, тот, кто будет внимательно и прилежно исследовать эти вещи, не останется без богатых плодов от своих трудов“.

Развитие физики подтвердило эту догадку Ньютона. Мы уже знаем, что Ньютонovo объяснение возникновения цветов рассеянием света (§ 383) сделало возможным изготовление ахроматических линз, следствием чего явилось значительное улучшение зрительной трубы и микроскопа. Тщательное же исследование чистого спектра привело к совершенно новой науке, которая позволяет извлекать указания на природу источника света из световых лучей, посылаемых этим источником.

423. В 1802 году английский физик Вильям Вульстен (1766 — 1828) опубликовал работу о преломляющей и рассеивающей способности различных тел. В этой работе он сообщал, что солнечный спектр не представляет непрерывного ряда всех цветов от красного до фиолетового, но что он прерыв-

зывается множеством темных линий, идущих параллельно щели, посылающей светъ (сквозь линзу *Z.*) к призме (рис. 398). То же самое он наблюдал в спектрахъ, даваемых различными раскаленными телами. И здесь спектр не был непрерывнымъ, а состоял изъ светлых полос с темными промежутками.

424. Вульстен не мог объяснить происхождения этих темныхъ линий. Это явление было исследовано точнее Иосифом Фраунгоферомъ. Фраунгофер родился в 1787 году в Штраубинге, где его отец был стекольным мастеромъ.

Рис 399



Иосиф Фраунгоферъ

По смерти родителей, в возрасте 11-ти лет он поступил в учение к шлифовальщику стекол Вейксельбергеру в Мюнхене. Учение должно было продолжаться шесть летъ и хозяин требовал от Фраунгофера так много, что онъ даже ни разу не мог посетить воскресную школу. Приключившийся с ним несчастный случай послужил причиной улучшения его обстоятельствъ.

Дом его хозяина обрушился и молодой Фраунгофер был засыпан обломками. Во время работы по его откапыванию на место несчастья попал наследный принцъ. Он принял участие в мальчике и подарил ему довольно значительную сумму денегъ. Теперь Фраунгофер откупился от своего хозяина и приобрелъ себе машину для шлифования стеколъ, чтобы работать на собственный страхъ. Не найдя, однако, достаточно работы, он поступил помощником в механическую мастерскую Утцшнейдера. Здесь он вскоре показал себя необычайно искуснымъ шлифовальщикомъ. Его первой задачей была шлифовка линз для обсерватории въ Офене. Эта и несколько других работ так великолепно удались ему, что Утц-

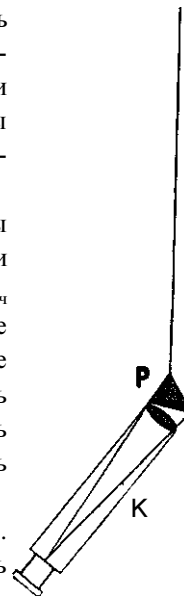
шнейдер принял в 1809 году молодого Фраунгофера в компаньоны по своему оптическому институту.

Теперь Фраунгофер имел возможность заняться своим образованием. Он взялся за математику и особенно за оптику. Для того чтобы иметь возможность изготовлять возможно совершенные ахроматические линзы, он стал искать в спектре опорных точек, которые позволили бы ему определять светоразсеяние лучей различного цвета для разных сортов стекла с возможной точностью. Деление спектра, указанное Ньютоном, предполагало, что его длина может быть точно определена; Фраунгофер, однако, нашел, что нет никакой возможности указать для спектра определенные границы. Поэтому он старался найти такие источники света, которые испускали бы только один сорт цветных лучей, *т. е.* монохроматический свет. Спектр такого рода источников света должен был бы состоять только из одной линии. А если бы ему удалось найти, например, простой желтый и простой синий свет, то он мог бы из опыта определить величины преломления этих цветных лучей. Таких источников света Фраунгофер, однако, не нашел. Зато он открыл, что в спектре масляного и спиритового пламени всегда есть отчетливая желтая линия в одном и том же месте спектра. В этой желтой линии он имел теперь одну опорную точку. Но для того чтобы иметь возможность определить величины рассеяния, ему нужно было несколько таких линий. Поэтому он продолжал свои исследования и между прочим тщательно изучал спектр солнечного света. При этих наблюдениях он пользовался увеличительным стеклом и достиг более точных результатов, чем кто бы то ни было из предшествовавших наблюдателей.

Фраунгофер пропускал солнечный свет сквозь узкую щель *S* (рис. 400) в темную комнату и здесь принимал его на призму *P*. По выходе из призмы лучи вступали в зрительную трубу *K*. Объектив этой трубы давал в поле зрения чистый спектр, который рассматривался окуляром, как увеличительным стеклом.

Зрительную трубу нужно устанавливать так, чтобы в ней получалось отчетливое изображение щели. Если преломленный свет, попадающий в зрительную трубу, состоит из лучей, которые претерпели все одинаковое преломление, то будет видно только одно изображение щели в виде линии. Но солнечный спектр состоит из лучей различной преломляемости и каждый цвет дает отдельное изображение щели. Таким образом спектр получается в чистом виде.

Фраунгофер дал приложенный рисунок (рис. 401) увеличенного спектра, который он наблюдал в свою зрительную трубу. В нем он нашел множество тех опорных точек, которых он искал. Именно,

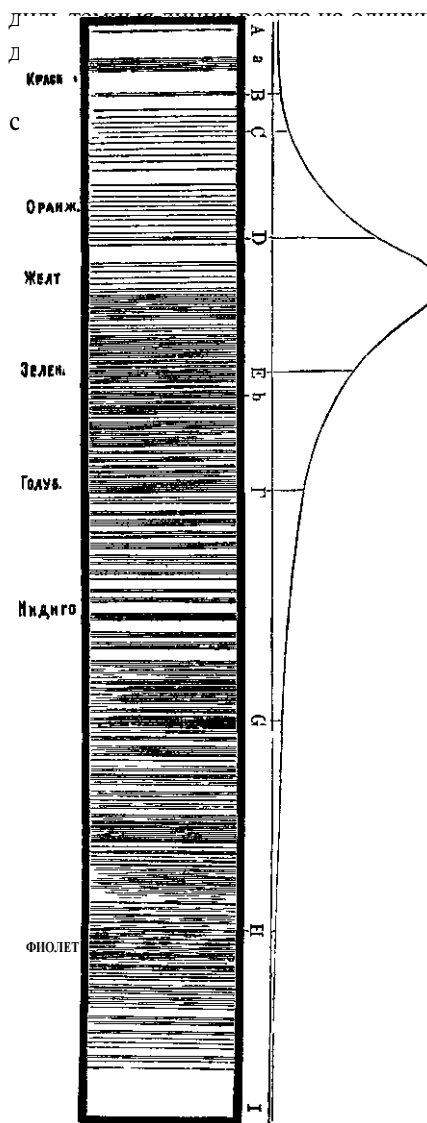


Исследование солнечного

Фраунгоферомъ.

перпендикулярными темными линиями спектр делился на множество полос различной ширины. Повторяя наблюдения, Фраунгофер нахо-

Рис. 401



и тех же местах. Оне являются характерными

спектре солнца, очевидно, обозначает, что въ цветных лучей. В самом деле, еслибы въ нем были все переходы цветов от крайняго красного до крайняго фиолетоваго, Ио спектр должен был бы быть непрерывнымъ (сплошнымъ).

Некоторые из этихъ Фрауниоферовыхъ линий, как были названы темныя линии солнечнаго спектра по имени открывшаго ихъ, значительно шире другихъ. Между ними особенно замечны восемь линий, обозначенныхъ буквами *A, B, C, D, E, F, G, H*. Фраунгофер насчиталъ в общемъ свыше 500 линий. Теперь Фраунгофер имелъ в своемъ распоряжении превосходное вспомогательное средство для приуиовления ахроматическихъ линзъ,—онъ могъ мерягъ коэффициенты преломления пары такихъ линий в различныхъ сорияхъ стекла и вычислять изъ нихъ радиусы кривизны своихъ линзъ.

425. Само собою разумеется, что темныя линии спектра глубоко интересовали открывшаго ихъ Фраунгофера. Онъ убедился, что причина ихъ лежитъ не в дифракции света. Онъ сталь изследовать светъ другихъ небесныхъ тель и нашель, что спектры луны и планей содержатъ те же самыя темныя линии, что и солнечный светъ, тогда какъ спектры неподвижныхъ звездъ отличаются отъ спектра солнца. Отсюда было ясно, что темныя линии представляли характерную особенность солнечнаго света независимо отъ того, достигаетъ ли онъ насъ непосредственно или уже после отражения отъ поверхности планеты.

В техъ же работахъ (1814 и 1815 гг.)

Фраунгофер сообщилъ и другое важное Фраунгоферовы линш. наблюдение, а именно, что светлая линия, которую онъ заметилъ в спектре маслянаго

пламени, лежитъ въ точности на томъ же самомъ месте, где в солнечномъ спектре помещается темная линия *D*.

Работы Фраунгофера возбудили мало вниманія в кругахъ физиковъ и не вызвали дальнейшихъ изследований спектровъ. Однако, онъ продолжалъ свои работы, после того какъ оптический институтъ былъ переведенъ, в 1818 г., изъ Бенедикт-

бейрена в Мюнхень, где Фраунгофер был удостоен звания профессора и избран членом Академии.

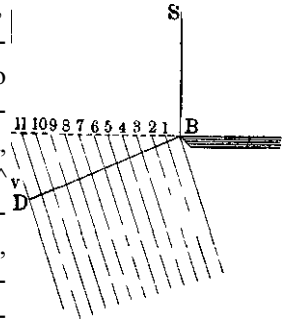
Главный предмет его исследований продолжали составлять темные линии солнечного спектра. Для получения спектра Фраунгофер стал пользоваться не Иолько призмами, но и так называемой оптической решеткой.

426. Выше мы видели (§ 411), что спектр можно получить при помощи диффракции света.

На узкую щель AB , на рис. 402 сильно увеличенную, падает пучок лучей SS монохроматического света. В самой щели, т. е. на линии AB , отдельные лучи находятся в одной и той же фазе колебания и из

Рис. 402

каждой точки отрезка AB , согласно началу Гюйгенса, выходят новые световые волны. Если экран, на который падает этот спектр, находится так далеко от щели, что все линии от AB до экрана можно считать параллельными, то, очевидно, то место экрана, которое приходится прямо против щели, получит лучи в одной и той же фазе колебания и потому будет сильно освещено. — Иначе будет обстоять дело, однако, в местах, на которые попадают лучи,клоненные (в силу диффракции) от первоначального направления. Те лучи, например, которые образуются



первоначальным направлением лучей SA угол , Интерференция при узкой щели. будучи проходить неодинаковые пути от щели до

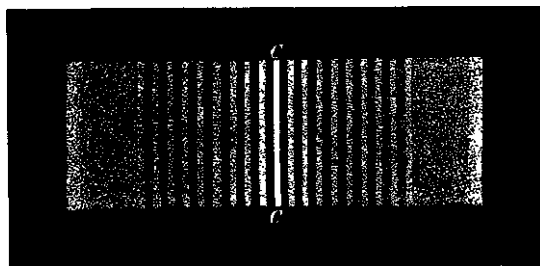
экрана. Рассмотрим внимательнее несколько отдельных лучей, обозначенных на рисунке цифрами от 1 до 12. Разность хода двух крайних лучей, или отрезок AD , пусть будет равна длине целой волны. В этом случае средний луч, обозначенный числом 6, должен пройти полуволны больше, чем крайний луч у B . Следовательно, если последний дает на экране гребень волны, то луч 6 производит долина волны. Таким образом, действия этих двух лучей взаимно уничтожаются. Таким же образом попарно уничтожаются лучи 1 и 7, 2 и 8, 3 и 9, 4 и 10, 5 и 11. Весь этот пучок лучей, следовательно, не вызовет на экране никакого действия в силу интерференции отдельных лучей.

Если для крайних лучей пучка, отклоненного от первоначального направления еще больше, разность хода составит две целых длины волны, то разность хода между крайним лучом и средним, как и разность хода между последним и другим крайним лучом, будет составлять одну длину волны. Таким образом лучи каждой половины будут взаимно уничтожать свое действие. То же имеет место, если разность хода крайних лучей будет составлять 3, 4, 5 и т. д. целых длин волн. — В тех направлениях, которые соответствуют этим разностям, на экран не будет попадать никакого света и на соответственных местах будут видны темные полосы. Но если разность хода крайних лучей будет составлять 1, 3, 5, 7 и т. д. полуволн, то в этих направлениях на экран будет попадать некоторый свет и на соответственных местах получатся светлые линии. Образованное интерференцией изображение будет состоять из светлой линии посередине и ряда светлых и темных полос по обе стороны от средней линии (рис. 403).

Если измерить взаимное разстояние двух соседних темных полос и определить угол, на какой уклонился пучек света от первоначального направления, то вычисление длины волны монохроматического света, служившего для опыта, представить простую геометрическую задачу. Именно, разность путей от щели до темных полос на экране, соответствующих взятым лучам, должна составлять целую длину волны.

Если производить этот опыт не с монохроматическим, а с белым светом, то изображения будут состоять не из светлых и темных полос, а из

Рис 403



Интерференционные полосы.

цветных. В самом деле, лучи различного цвета дают свои светлые и темные полосы на неодинаковых расстояниях от средней полосы, которая и в этом случае будет белой, так как она образована лучами всех цветов. Ближайшая светлая полоса к середине будет фиолетовая, так как фиолетовый цвет имеет наименьшую длину волны. За ними будут следовать остальные полосы в порядке цветов радуги. Но эти цвета нечисты, так как, с удалением от средней полосы, цвета все больше и больше смешиваются друг с другом.

427. Фраунгофер улучшил этот дифракционный спектр введением так называемой оптической решетки, которую он получил, натянув металлические проволочки через углубления нарезки двух параллельных винтов. Можно приготовить такую решетку также, процарапав тонкие линии в слое металла на стеклянном зеркале. Чаще всего употребляются решетки, полученные нанесением параллельных линий на стеклянную пластинку тонким алмазным резцом. Промежутки между двумя нанесенными линиями будут представлять щели. Если пропустить луч света перпендикулярно к решетке, то каждая щель ее представит исходную точку новых световых волн.

Рис. 404 представляет часть такой решетки. Первую из какой-нибудь тысячи щелей пусть представляет ab , вторую cd и т. д. Проходящий свет, сохранивший первоначальное направление, собирается при помощи линзы и дает на экране светлую полосу

Напротив, световые лучи, проходящие сквозь решетку в косом направлении, будут давать некоторую разность хода. Если эта разность, например, для лучей, идущих сквозь первую и вторую щели, составит $1/1000$ длины волны, то вообще для каждой пары соседних щелей разность хода будет составлять $1/1000$ длины

волны. Лучи, проходящие сквозь щель 501, должны пройти путь, который на 500/1000 длины волны длиннее пути, который должны пройти лучи из щели 1. Следовательно, эти лучи взаимно уничтожаются. То же относится к лучамъ, выходящимъ из щелей 2 и 502, 3 и 503 и т. д. Таким образом светъ, выходящий в таком направлении из первых 500 щелей, будет уничтожаться светомъ, выходящимъ

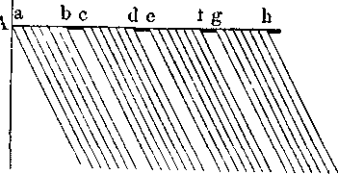
изъ Рис. 404

следующих 500 щелей.—Если решетка имеетъ S достаточное число щелей, то свет будет уничтожаться везде, кроме тех местъ, на которых лучи двух соседних щелей дают разность хода въ несколько целых длин волны.

Тамъ, где разность хода для лучей двух соседних щелей составляет 1, 2, 3 и т. д. (целое число) длин волны, все пучки лучей всех щелей усиливают друг друга. Поэтому в соответственных направлениях должны получиться светлыя линии.

Таким образом решетка, как и отдельная Ицель, дает интерференционные полосы, светлыя и темныя, но изображение получается значительно ярче, чем от одной щели.

Интерференция в оптической решетке.



Если для этого опыта с решеткой брать белый светъ, то вместо светлыхъ и темныхъ полос получится спектръ, фиолетовый конец которого будет обращенъ къ средней полосе. Решетка даетъ не один спектр с каждой стороны от средней полосы, а несколько, расположенныхъ дальше отъ нея и постепенно все более и более слабыхъ.

428. В диффракционном спектре солнечного света Фраунгофер нашелъ темныя линии в том же порядке и той же относительной яркости, что и в призматическомъ. Он определил длины волн различных цветовъ, причем темныя линии служили ему опорными точками. Измерения Фраунгофера гораздо ценнее и точнее измерений Йонга и Ньютона, такъ как у последнихъ не было вспомогательного средства в виде темныхъ линий.

Фраунгофера интересовала не математическая сторона вопроса и он не ставилъ себе задачей вмешательство в спор о природе света. Он ограничивался просто установлением фактовъ при помощи опытовъ. Математической обработке его наблюдения были позднее подвергнуты Швердомъ (1792—1871), профессоромъ Шпейерской гимназии. Эта обработка сделала опыты с оптической решеткой новымъ подтверждениемъ волнообразной теории. Во время появления работы Шверда въ 1835 г. Фраунгофера уже давно не было на свете, такъ как он умеръ в возрасте всего 39 летъ. Он в высшей степени способствовалъ развитию оптики. Наиболее важное место здесь принадлежит его улучшениямъ оптическихъ инструментовъ при помощи вычисления и шлифовки ахроматическихъ линзъ. На его могиле было справедливо написано: „Онъ приблизилъ къ намъ звезды“. Теперь мы можемъ прибавить: „Онъ далъ намъ возможность познавать природу источника света по посылаемымъ имъ лучамъ“.

Фраунгоферовы линии, а также наблюдение желтой линии в огне сиричовой

лампы явились предшественниками совершенно новой науки — спектрального анализа

429 Спиртовое ИИламя само Ию себе бечцвеино, НО обыкновенно оно имеет желтоватую окраску На это явление обращал внимание уже в 1752 г Томасъ Мельвилль въ одном Эдинбургскомъ журнале Однако, он не мог указать при чины этой желтой окраски

Одновременно с Фраунгофером исследованиемъ спектра пламени различной окраски занимался Джон Гершель (^ 327) Его наблюдения, результаты которыхъ онъ опубликовалъ въ 1823 и 1829 И г, оиносились къ пламени, окрашенному стронцием медью или борной кислотой

,Пламя съ азотнокислым стронцемъ даеи два яркихъ красныхъ луча Спектръ оираничен очень резко, НО всею удивительнве въ нем свеилая фиолетовая линия

[НС 40з



Г Р Кирхи оффъ

совершенно отличная от остальных — Калий при горенш в парах юда Иакже даетъ хакаириный спектр" Гершель подчеркиваетъ, что этим путемъ можно обнаружить крайне ничтожныя количества окрашивающихъ пламя веществъ Но ихъ светъ нужно пропускать сквозь призму, такъ какъ при непосредственномъ наблюде нии окраска пламени не определяется достаточно ясно

Яснее говоритъ объ этихъ соотношенияхъ Фоксъ Тальботъ (1800—1877), изобретатель фотографш на бумае В 1834 г, говоря о своихъ спектральныхъ исследованияхъ, начатыхъ в 1826 г, онъ подчеркиваетъ, что стронщевое пламя и литиевое пламя, т е пламя, окрашенное стронщемъ или литиемъ, нельзя отличить другъ отъ друга простымъ глазомъ, такъ какъ оба они красныя, НО если разсмаи-

ривать сиронщевое тамя сквозь призму го кроме крайюжелиого и ризкаю Ио j бою лучей въ немъ можно ^аметииь большое число красиыхъ лучей раздеиенныхъ друи ь отъ друга темными промежуиками Напротивъ, въ Иипевом пламени красныс лучи не оиделяюися друг от друга Тал^бот ь прибавляегь чио при помощи на блюденш спектра можно открывать поразигелино ничгожныя КОшчества этих ве Идествъ и Иаже чю эгот способъ изсиьдованш Иоразю юньше, чии п химическое определение присутствш ЭИИХР> вещества Гальботъ однако, не сдьиаи общихъ вы водов из своихъ наблю Иении То же оиносиихя и къ Ми персу (1817—1870) который опубликовалъ свои наблюденш сиектрови пламени нь 1845 И ОНЬ правда,

Рис 406



Р В Б}н^ень

нриложиь къ своей рабоиь изображения наблюденныхи имь сиекировъ, но не ю- бился яснаю пре Иставленш спекфальныхъ явленш

Сушественный успехъ в эиомъ направииш претстав Ияют рабоиы Вильяма Свана (рои 1817), опубликованныя в 1857 И Сван ь Иоказа И что свипая желтая линия в спектре спиртового пламени которою пользовался уже Фрауниоферъ н которая почти никогда не отсутствуегь в спектръ гпамени масляной лампы произ- водится металлом натрием который в соениненш съ хлором тает поваренную соль Причиной того, чю почти всякое пиамя Иаеи ь линию наирия, является ши рокая распросираненность этого вещества Въ кажюй ВОИи въ кажюи пылинке на- ходится большее или меньшее коиичество эгою соединения

Как было уже упомянуто, эта желтая линия всегда получается в одном и том же месте спектра. Таким образом, натрий в пламени дает всегда одну определенную спектральную линию. Сван исследовал также пламя другого рода и пришел к аналогичным результатам, а именно, что спектральные линии, появляющиеся при нагревании вещества в пламени, всегда находятся в одном и том же месте спектра. Всякое вещество имеет свои определенные линии, характерны для него. — Однако, этот закон был выражен ясно впервые только Кирхгоффом и Бунзеномъ. Сван рассматривал предмет недостаточно обще и оставил без ответа вопросъ, какую роль играют в произведении спектра твердые и какую газообразныя вещества.

430. Густав Роберт Кирхгофф родился в Кёнигсберге в 1824 году. Он начал свое учение в университете родного города, где в числе его учителей был знаменитый профессор математической физики Франц Нейман (1798 — 1895). Во всех работах Кирхгоффа можно заметить влияние Неймана, обнаруживающееся въ изящном математическом изложении физических исследований. Въ 1838 г. Кирхгофф стал приватъ-доцентом Берлинского университета, в 1850 профессором в Бреславле, а в 1864 профессором в Гейдельберге. В Бреславле в течение одного года он работал одновременно с Бунзеномъ, который переехал в Гейдельберг уже в 1852 г.

Роберт Вильгельм Бунзен родился в 1811 г. в Гёттингене. Здесь же в 1833 г. он стал приватъ-доцентомъ, в 1836 г. сделался профессором политехнической школы в Касселе, в 1838 г. профессором в Марбурге. Отсюда он в 1851 г. перешел в Бреславль. Уже в следующем году Бунзен последовал приглашению в Гейдельбергъ.

Работая в Гейдельберге, Кирхгофф уже принадлежал к числу знаменитейших доцентов Европы. Его лекции, в которых обнаруживалось поразительное владение материалом и которыя сопровождались изящными и точно выполненными опытами, привлекали в Гейдельберг слушателей изъ всех странъ. В 1859 г., следовательно, спустя два года после появления работ Свана Кирхгофф помѣстил в ежемесячнике Берлинской Академии статью о Фраунгоферовых линияхъ, в которой он положил основание научному спектральному анализу. Эта статья состояла всего из двухъ страниц в восьмую долю листа и в существенномъ содержала следующее.

431. „Во время производимого сообща Бунзеном и мною исследования о спектрах окрашенного пламени, которое дало нам возможность определять составъ сложных смесей по спектру их пламени на паяльной трубке, я сделал несколько наблюдений, которыя дают неожиданное указание на происхождение Фраунгоферовых линий и позволяют вывести заключения, на основании ихъ, о составе атмосферы солнца и, может быть, более ярких звездъ”.

„Фраунгофер заметилъ, что в спектре пламени свечи видны две светлыхъ линии, которыя совпадают с двумя темными линиями *D* солнечного спектра. Те же светлыя линии получаются ярче в пламени, в которое была внесена поваренная соль. Я сделал рисунок солнечного спектра и при этом пропустил солнечные лучи, еще до вступления их на щель, сквозь большое пламя, окрашенное поварелною солью. При достаточном ослаблении солнечного света на месте двух темныхъ

линий *D* появлялись светлые линии; но если напряженность солнечного света переходила известную границу, то темные линии *D* становились гораздо резче, ЧБМ она была при отсутствии пламени, окрашенного поваренною солью".

Когда Кирхгофф сделал это наблюдение и убедился в его справедливости, он оставил лабораторию, чтобы обдумать этот вопрос, со словами: „Тут, кажется, есть что-то фундаментально важное" („das scheint mir eine fundamental Geschichte"). На следующий день он открыл искомую связь. В его статье далее следует: „Из этих наблюдений я заключаю, что окрашенное пламя, в спектре которого есть светлые резкие линии, так ослабляет лучи света этих линий, проходящие сквозь него, что на месте светлых линий появляются темные, если позади пламени находится источник света достаточной яркости, в спектре которого этих линий вообще нет. Я заключаю далее, что темные линии солнечного спектра, которые произведены не атмосферой земли, возникают благодаря присутствию в раскаленной атмосфере солнца веществ, в спектре пламени дающих на том же самом месте светлые линии. Можно допустить, что светлые линии, в спектре пламени совпадающие с *D*, всегда обусловлены присутствием натрия; отсюда темные линии *D* в спектре солнца позволяют заключить, что в атмосфере солнца есть натрий". Таким образом, Кирхгофф думает, что ядро солнца раскалено добела и испускает лучи всех цветов, но что солнечная атмосфера удерживает из этих лучей, между прочим, желтые лучи натрия, так как она сама содержит раскаленные пары натрия. Таким образом, солнечный спектр, по видимому, есть спектр поглощения, так как некоторые из цветных лучей спектра отчасти или вполне поглощаются веществом, окружающим источник света.

Кирхгофф заключает свою статью следующими словами: „Согласно этому исследованию спектров окрашенного пламени приобрело новый высокий интерес; вместе с Бунзеном я веду исследование дальше, насколько позволят наши средства. При этом мы будем исследовать дальше установленное моим наблюдением ослабление световых лучей в пламени. Из тех опытов, которые сделаны нами в этом направлении, уже выяснился один факт, который имеет, как нам кажется, большое значение. Друммондов свет для обращения в нем линий *D* в темные требует меньшей температуры пламени, окрашенного солью. Пламя не вполне обезвоженного алкоголя годится для этого, но пламя Бунзеновской газовой горелки уже не годится. При употреблении последней достаточно самого ничтожного количества поваренной соли, какое только может быть замечено, чтобы показались светлые линии натрия. Мы оставляем за собою право вывести дальнейшие следствия, которые могут быть связаны с этим фактом".

432. Наиболее важным пунктом этой коротенькой статьи является, очевидно, указание на связь между лучами, посылаемыми пламенем, и лучами, ослабляемыми им, когда сквозь него проходит белый свет.

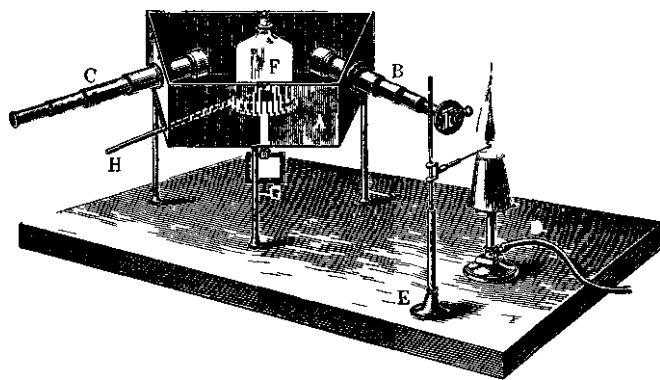
В учении о теплоте (II, §§ 133 и 134) будет показано, что два тела одинаковой температуры, помещенные рядом, находятся в условиях уравновешенного излучения. Отсюда необходимо следует, что способность излучения и способность поглощения у таких двух тел должны находиться в одном и том же отношении друг к другу. Если одно тело излучает тепла в 10 раз больше, чем другое,

ТО условие уравниженности излучения может иметь место только в том случае, если первое тело поглощает тепловые лучи в 10 раз сильнее, нежели второе. Но что справедливо для тепловых лучей, то справедливо и для световых, так как тепловые и световые лучи, подобно различным цветным лучам, отличаются друг от друга только скоростью своих колебаний (ср. § 410 и II, ¹ 145).

Кирхгофф проследил и уже эту связь между излучением и поглощением. Он показал, что найденное соотношение должно быть справедливым для каждого отдельного рода лучей, характеризуемого своею особою длиною волны. Но существуют и такие виды тел, которые испускают монохроматический свет, т. е. свет одной определенной длины волны. Такое монохроматическое пламя должно, следовательно, в особенно значительной степени обильно излучать свет, длина волны которого равна длине волны посылаемых им самим лучей.

Это объясняло тот опыт, в котором солнечные и Друкмондовы свет, прежде чем быть рассеянным призмой, проходили сквозь натриевое пламя. Пламя натрия излучает свет, соответствующий двойной линии D . Этой же свету содержится также и в свете солнца, но в последнем он в 10 раз сильнее, чем в пламени натрия. Он ослабляется в этом пламени, так как в спектре получается линия более слабая в сравнении с той, которая получается от солнечного света, попадающего на призму непосредственно — Друкмондов свет содержит и лучи Векслера. Поэтому он дает непрерывный спектр. Но если пропустить его сквозь пламя натрия, то его спектр пересечется двойной темной линией D .

433 До появления работ Кирхгоффа и Бунзена не было достаточно извещено о том факте, что спектральные линии могут характеризовать раскаленные



Первый спектроскоп Кирхгоффа

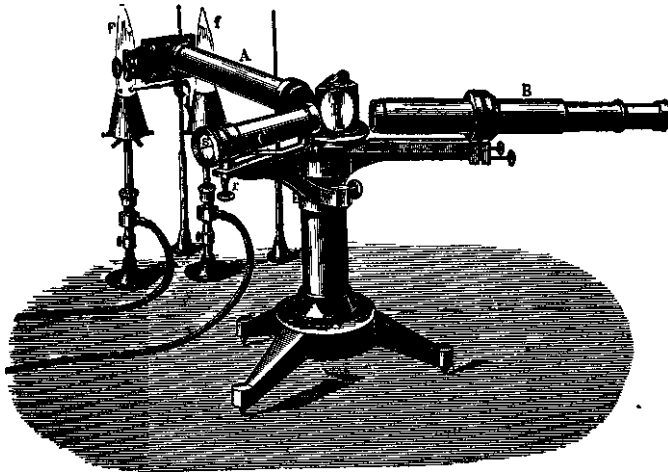
вещество. Правда, такая связь подозревалась, но вполне разъяснили ее именно Иоганн Кирхгофф и Бунзен. Этому очень помог посмертный Иоганн фон Снектерскоп.

Первый спектроскоп Кирхгоффа и Бунзена имел устройство, показанное на рис. 407. F представляла собой стеклянную призму с плоско-параллельными стенками, наполненную сернистым углеродом, который представлял собою сильно преломляющую жидкость. Трубка B на одном конце, обращенном к пламени, была

снабжена Иделью, а на другом конце имена собирательную Иинзу, которая деиала параллельными лучи, идущие отъ щели Эти лучи преломлялись призмою и полученный спектр разсматривался зрительною трубою *C* съ 8 крайнымъ увеличениемъ

Профессоръ Штеингейль въ Мюнхене дал спектроскопу форму, изображенную на рис 408 и ставипую Иеперь общеприняюй Полая призма замененл въ ней массивной иеклянной, а кроме коллиматора и зрительной трубы есй еиие Иреиьа Ируба

Рис 408

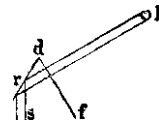
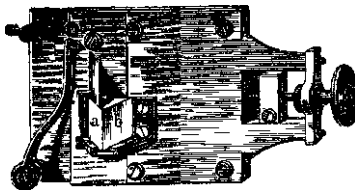


Усовершенствованный спекироскоп Кирхгофа

Эта труба на конце, обращенномъ к призмѣ, снабжена собирагельной Иинзой, а съ другого конца закрыта стек Иянной пластинкой съ мелкими делениями Выходящие ичь этой Ирубки лучи падаюг на поверхность пршмы и огражаюися въ зригельную трубу, Иакъ чю наблюдаиель видиитъ в поле зрения, выипе или ниже спектра, деления, при

Рис 409

Рис 410

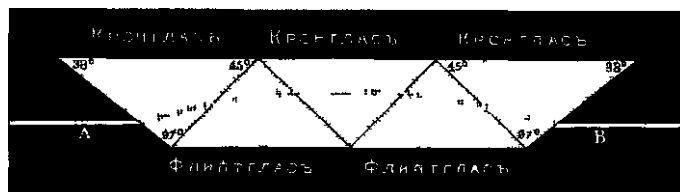


Щель с призмой

помощи которых онъ может точно определять положение спектральных линий Другое улучшение спектроскопа состоит въ приспособленш, позволяющем наблюдать одновременно спектры двух источников света. Для этой цели половина щели закрывается равносторонней призмой *ab* (рис 409) Лучи, идущие от пламени, КО-

торое находится на продолжении оси коллиматора, проходят сквозь непокрытую часть щели. Напрямую туда, сквозь призму они не могли пройти, так как отражаемая поверхностью призмы. Но если поместить пламя L несколько сбоку от Ицелии (рис. 410), то лучи, падающие на Июверхность df , войдут в призму и отражаясь от поверхности призмы cd в щель. В непокрытую же часть щели от источника света L не попадет ни одного луча. Таким образом, если эти два пламени, поставленные прямо перед щелью и сбоку от нея, различного рода, то в зрительную Ирубу спектроскопа одновременно будут видны два различных спектра. Они будут лежать непосредственно один над другим, так что положение линий можно очень удобно сравнивать. Существуют также спектроскопы, в которых ось зрительной трубы находится на продолжении оси коллиматора (рис. 411). Эти Иакъ называемые прямые спектроскопы (прямого зрения, а *vision directe*) состоят из нескольких кронштоксовых и флинштоксовых призм, например, из трех

Рис. 411



Прямой (a vision directe) спектроскоп

кронштоксовых и двух флинштоксовых, углы которых подобраны Иакъ, что преломление—но не рассеяние—одной Ируппы призм уничтожается действием другой Ируппы. Маленькие карманные спектроскопы все принадлежат к разряду прямых. **434** Кирхгофф и Бунзен исследовали множество известных веществ, особенно металлов. Исследуемое вещество укреплялось на платиновой проволоке и нагревалось на пламени Бунзеновской горелки, на пламени водорода или гремучаю газа. При высокой температуре вещество обращалось в пар и свет этого раскаленного пара исследовался. Эти наблюдения тотчас же повели к открытию

Рис. 412



Гейслерова трубка

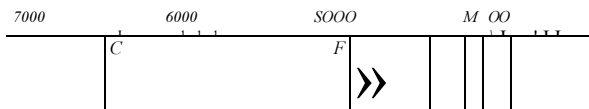
двух новых элементов, цезия и рубидия. Позднее при помощи спектроскопа было открыто несколько других элементов, например, таллий, италлий и индий (ср. таблицу спектров).

Спектры газообразных тел наблюдают при помощи так называемых Гейслеровых Ирубок (рис. 412), т. е. стеклянных трубок, которые содержат разреженный газ и в которые впиваются две платиновые проволоки, служащих для проскакивания в газе электрических искр, производимых индукционным прибором.

Гач при этом раскаливается и можно наблюдать его спектр, поместив среднюю узкую часть трубки перед щелью спектроскопа. Спектр водорода (рис 413) состоит из трех отчетливых линий (красной, зеленой и фиолетовой), которые совпадают с тремя Фраунгоферовыми линиями C , F и H . Кроме того, спектр водорода содержит ряд менее заметных линий в фиолетовом цвете.

Спектральные линии появляются только тогда, когда свет испускается раскаленными парами или газами, которые находятся под надлежащим давлением. Свет, производимый твердыми и жидкими телами, дает непрерывный (сплошной) спектр.

Рис 413



Спектр водорода

(пояр иногда может представлять среднее между сплошным и линейчатым — это так называемые полосовые спектры, в которых ряд светлых полос чередуется с темными промежутками. При более значительном рассеянии света эти полосы разрешаются в группы светлых линий и таким образом получается так называемый желобчатый спектр. Полосовые спектры даются преимущественно сложными веществами, например, углеводородами. Но и газообразные элементы могут давать полосовые спектры например, когда электрические искры в Гейслеровой трубке недостаточно сильны).

При помощи спектрального исследования как уже подчеркивали Гершель и Тальбои, можно обнаруживать присутствие чрезвычайно ничтожных количеств некоторых веществ. Кирхгофф и Бунзен нашли, что $\frac{1}{3000000}$ миллиграмма хлористого натрия окрашивало пламя настолько, что оно давало ясную линию натрия, а позднее в электрической искре открывали даже присутствие $\frac{1}{1000000}$ миллиграмма лития.

435 При исследовании менее преломляемых лучей и исследовании света сильных источников бывает выгодно пользоваться дифракционным спектро스코пом, который обладает ТМ преимуществом, что дает непосредственные длины волн спектральных линий. На изображенном на рис 414 приборе L представляет коллиматор, M стеклянную оптическую решетку и F зрительную трубу, в которую наблюдается дифракционный спектр. На разделенном круге отсчитывается угол отклонения (дифракции) и из величины этого угла определяется длина волны спектральной линии, на которую наложены перекрестные нити зрительной трубы (см § 426). С таким именно инструментом шведский физик Андерс Онгстрем (1814—1874) очень точно определил положение темных линий солнечного спектра. Его знаменитый атлас солнечного спектра (1869 г.) в продолжение 20 лет служил основой для точных определений длин волн. В последнее время при спектральных исследованиях находит широкое применение фотография.

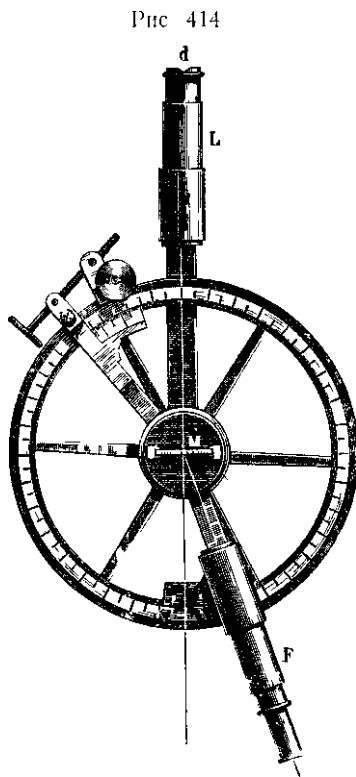
4-36 После того как Кирхгоффу и Бунзену удалось достоверно доказать, что спектральные линии действительно характеризуют различные вещества, они предприняли основательное исследование спектра солнца. Для этой цели Кирхгофф построил сильно рассеивающий спектроскоп с четырьмя флинтгласовыми призмами.

(рис 415) Сі помощью тщательных измерений эти превосходные исследователи, опираясь на теорию Юлиания световых лучей Кирхгоффа (§ 431), доказали что наличие элементов находящихся на земле элементов имеется также и на солнце. Этим они положили основание новой науки, за которой являлся исследование физическое строение небесных тел. В 1865 г. Целлинер дал этой науке имя асирофики.

Исходные пункты в данной области исследования веществ находящихся на солнце, дали опыты Кирхгоффа над пламенем и заключены, которых он извлек из

этого опыта (^432)

Кирхгофф при исследовании себе солнце в виде твердого тела, раскаленного вещества, окруженного облаком паров в которых находятся, в виде паров же,



Спектроскоп с оптической
решеткой

материалы, так как температура поверхности солнца чрезвычайно высока. Солнечная плазма Кирхгофф считала обложками солнечной атмосферы и, таким образом, массами более или менее плотными паров. Солнечное ядро и релаксирует в части

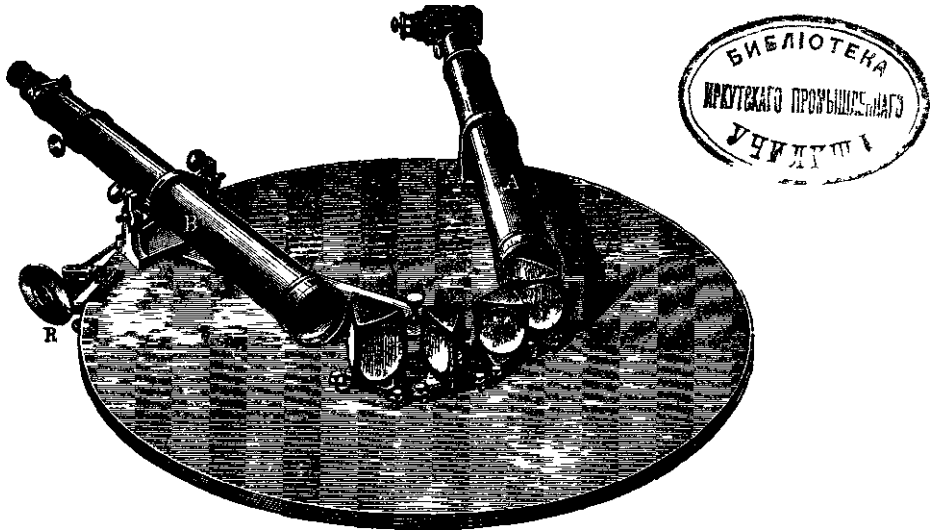
солнца с наиболее высокой температурой и отсюда исходит основная масса солнечного излучения. Поэтому спектр солнечного света, проходящего через атмосферу паров, которые также раскалены, но имеют температуру ниже температуры солнечного ядра. Эта атмосфера паров действует подобно пламени в опыте Кирхгофф (^431), и ее исследованием лучи, которые сама испускает. Поэтому спектр солнечного света, доходящего до земли, дает темные линии (ослабленные волны), которые отвечают лучам, поглощенным солнечной атмосферой. Из числа этих темных Fraunhoferовых линий солнечного спектра многим соответствует множество спектральных линий известных металлов. Из этого совпадения Кирхгофф и Бунзен заключили, что в атмосфере солнца должны находиться эти металлы в парообразном состоянии.

437 Конечно, было бы в высшей степени важно найти указатель справедливости теорий Кирхгоффа о существовании солнечной атмосферы на свет солнечного ядра, и притом доказательство, опирающееся не на опыт со свечением пламени, а на прямое наблюдение солнечного света. В настоящее время такое доказательство действительно есть. Однако, прежде чем перейти к нему, мы должны познакомиться с современными взглядами астрофизиков на строение солнца—и теперь еще говорить о солнечном ядре. Но это ядро недоступно прямому исследованию. В высшей степени вероятно, что оно газообразно, так как его плотность составляет всего $1 \cdot 10^{-7}$. Если бы солнце было жидким, то оно должно было бы иметь

гораздо бо́льшую плотность, так как в нем содержатся в значительном количестве тяжелые металлы. Но изобразим солнечное ядро не можем сравнить с массой Земли на поверхности земли. В силу огромного давления, господствующего на солнце, солнечное ядро обладает плотностью, которая превосходит плотность воды, но, несмотря на это, оно в силу своей высокой температуры газообразно.

Видимая поверхность солнца образуется слоем сильно раскаленных облаков, фотосферой, окружающей солнечное ядро. В этой фотосфере образуются солнечные пятна и из нее выступают солнечные факелы. Солнечные пятна, иногда

Рис 415



Спектроскоп Кирхгофа с сильным "светоразсеянием"

достигающих размеров в миллион квадратных миль, представляют собою углубления в фотосфере и кажутся нам темными, так как эти углубления наполнены сравнительно холодным и потому сильно поглощающим газом, который спускается из внешних слоев. Эти углубления — Солнечные факелы производятся противоположным процессом, т. е. тем, что в отдельных местах фотосферы массы раскаленных паров выбрасываются наружу. Факелы могут достигать высоты в 10000 миль и ярче остальной фотосферы в силу того, что излучаемый ими свет проходит сквозь более тонкий слой газов.

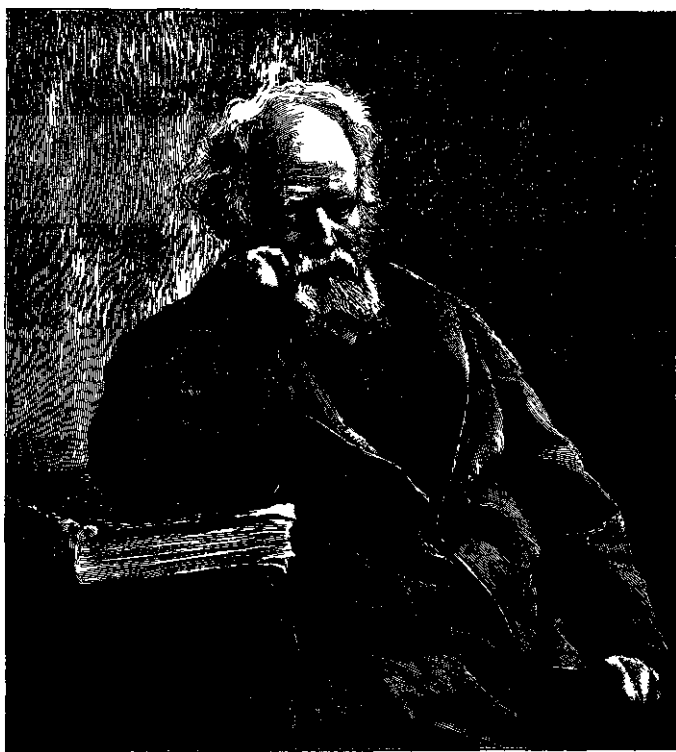
Фотосфера покрыта другим слоем газов, более холодным, приблизительно в 200 миль толщиной. В этом слое происходит поглощение, производящее Fraunhofer's lines.

Поглощающий слой переходит в пурпурно-красную хромосферу, которая кроме других элементов содержит большое количество водорода. Из хромосферы поднимаются отростки часто удивительной формы, так называемые протуберанцы или солнечные выступы, хромосферу окружающие, наконец, самая внешняя часть солнечной атмосферы, корона, постепенно теряющаяся в темных пространствах небес.

438 При обыкновенных условиях нельзя отличить один от другого раз-

ные слои, из которых состоит атмосфера солнца. Но во время полных солнечных затмений мы можем изучать самую внешнюю раскаленную газообразную оболочку, Иакъ как при этом диск луны закрывает солнечное ядро и фотосферу.— Сделанное во время полного солнечного затмения спектральное исследование внешних нагретых слоев солнечной атмосферы может, очевидно, послужить для проверки установленной Кирхгоффом Иеории Фраунгоферовых линий. Именно, во время затмения свет фотосферы усугняется луною и на землю попадает только свет от внешних слоев солнца, которые согласно Иеории Кирхгоффа и производят поглощение. Здесь въ известной мере мы имеем тот же случай, какой представлял в упомянутомъ уже (§ 431) опыте своей одного натриевого пламени, изсле-

Рис. 416



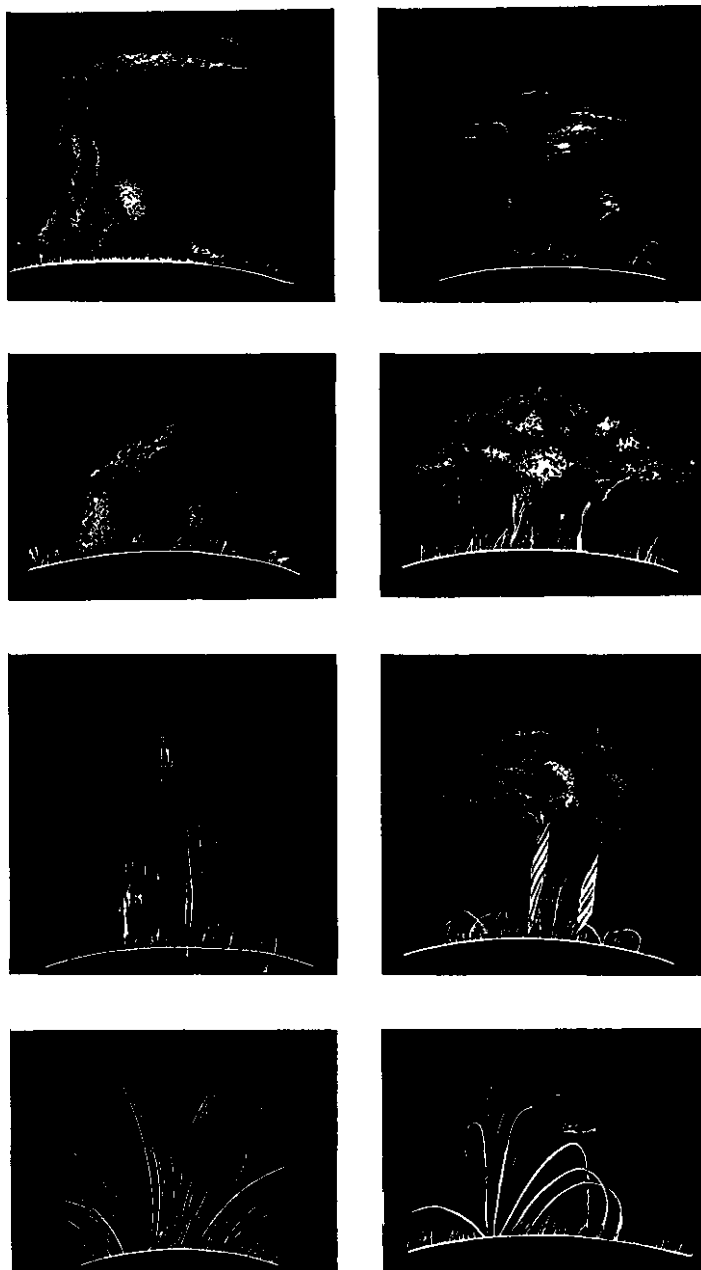
П Ж Жанссень.

дуемого при помощи спектроскопа. Отсюда вытекает, что, исследуя спектроскопически свет солнца во время полного солнечного затмения, мы должны видеть спектральные линии светлыми на темном фоне.

Полное солнечное затмение 1868 г. и было использовано для такой проверки теории Кирхгоффа. Французская Академия послала астронома Жанссена (1824—1907) въ Остъ-Индію, где это затмение могло наблюдаться при особенно благоприятных условиях. Жанссен обратил свое внимание особенно на протуберанцы, эти своеобразные ответвления хромосферы, нередко причудливой формы. Они бывают очень ярки, а иногда и чрезвычайно велики (рис. 417). Жанссен направил спектро-

скоп на протуберанцы и увидѣль спектръ, состоящий изъ светлыхъ линий. Этимъ было доказано, что протуберанцы состоятъ изъ раскаленныхъ газовъ

Рис. 417



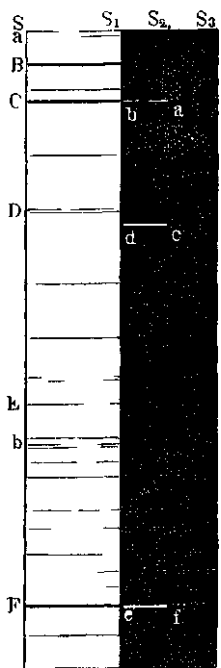
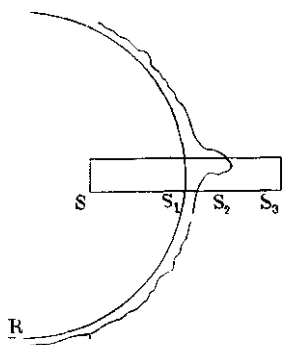
Солнечные выступы или протуберанцы.

Еще во время этих наблюдений Жансенъ нашел способъ видѣть эти протуберанцы въ обыкновенныхъ условияхъ, т. е. вне солнечныхъ затмений. Почти одно-

временно на тот же способ напал и ани Иийский астроном Нормань Локиеръ (род 1836), когорый приложилъ эиои приемъ на пракиикъ еще раньше, чемъ со общение Жанссена аосииило Европы

Проиуберанцы можно набиюдаиъ при полном солнечномъ светѣ, есиизамънииъ ок>лярнуио часиъ астрономическои трубы копшмаюром спектроскопа, приюмъ Иакъ, чюбы Ицель коллиматора находилась в самомъ фокусе объектива. Затемъ Ируба направляется на солнце Иакъ, чюбы изображение солнечного края попадало на щель спектроскопа. На рис 418 линия RR предсиавляеиъ изображение солнца, а $SS^{\wedge}$ щель. Такой спекироскопъ юлжень обиащить болыиим рассеяниемъ и, счедовательно, должеиъ имей бо Ийшое число призмъ. Светъ ои SS_1 , непосредсивенный СВ Li ъ солнца, да-

Рис 418 еиъ обыкновенный спекир солнца съ Фрауні оферовыми линиями—Свеи ъ оиъ $S_1S^{\wedge}$ несколько ииои. Огчасии он ъ



сосюииъ Ииъ обыкновенного солнечнаго света, а оичасии из света проиуберанцы. Но обыкновенный со Иичпый свеи (Чневпои свьиъ) паиающии на δ и ϵ , слабъ и поюму в сильно раи $I > \text{ивак}$ щиии спектроскопъ даеиъ Иишъ слабый спекир. Напроиивъ Иого, свви ъ протуберанци, не оелабляется сильнымъ разл^ич^иемъ спектроскопа, Иакъ какъ онъ сосюииъ юлько изъ отъ Иильныхъ светыхъ Ииинъ Иакнмъ образомъ, Июслъдшия отчетливо выси}паюиъ на $\wedge$ ОНт с Иабого сотнечнаго спектра. На рисунке показаны Ири линии проиуберанецъ. Первая Ииъ нихъ, nb , соответсивуетъ въ Фрауні оферовой Ииши C , вторая, cd , лежитъ въ желом цвѣИъ, а Иреиья, ef , отъвчаеиъ въ Фрауниоферовой Ииинш F . Поставив Ице Иъ касательно къ солнечному краю, можно увиинъиъ форму протуберанцы, если раскръпъ Ицель такъ, чюбы в ней моило помъ сиигъся изображение проиуберанцы (рис 419). Если протуберанца даеи три спекиральныхъ линии, ю, конечно, получаеиъ и три ея И-пображеша различнаго цвѣта.

Въ проиуберанцахъ всеи Иа есиъ водородъ и ка Иъ ции. Кромъ Fe того, спектр прогуберанецъ чсеида даети желеиюю линию вбизии линии наирия. До 1895 г не бпо извъсгно никакою вещесива, которое давало бы эгу линию ЭИемениИъ, неизвестный в числъ $\wedge$ емныхъ веИцествъ, по своему нахождению на солнце получил имя гелия. Только въ указанномъ Иоду Клеве обнаружилъ гелии в минерале клевете, а Рамзэй и^иолировалъ и гочнее исследоваль ею.

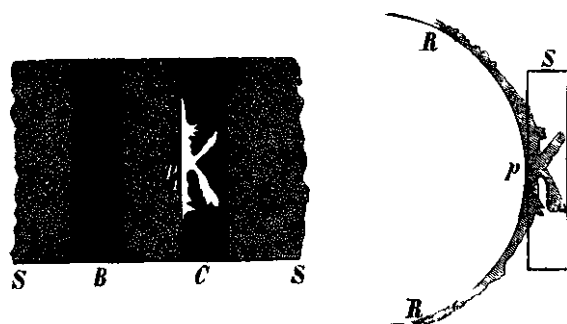
Ииоида въ протуберанцахъ всиречаюиъ Иакже железо, натрш, никкель, кобальтъ, марганецъ, барий, стронций, титан и магнии.

439 Во время со Иичного загмения можно Иакже Спекиръ прои берлнцы изсьдываиъ сввиъ того слоя атмосферы солнца, который Иежить непосредсивенно над фотосферой. Этот слой

Иаеи ъ Фраунгоферовы линш Поэгому есии геория Кирхиоффа върна Ио свеиъ зтого слоя до Ижен содержать те И>чи, коиорыхъ нетъ въ спектрѣ со Инца, кромѣ, конечно, лучей, отвечающихъ линиямъ ноіюшенш атмосферы зем Ии ($\wedge 441$) ~)то и подтверждается наб Ію Иениями, коюрыя Иела Иисъ во время затмений послѣ установле ния этой Иеории

Цѣлый рядъ веществъ является общимъ Идѣ проиуберамцъ и поилощающаго с Іоя, но поглощающіи слои содержатъ ъ болыпе чемъ проиуберанцы До настоящаго времени доказано присутавіе па солнце приб Изительно оО земныхъ эиemenювъ Спектръ короны Иаеи ъ иеленую Иннию, опюсииельно которой мы не знаемъ, какимъ вещеа ВОМі) она ИИрошведена Сѣ Ирз-Иой сюроны намъ ичв^сильо не ма Ію веществъ (напримѣрь, яоюіо ириуп), лиинин коюрыхъ въ спекІръ со шца не набиюдаиисъ

Рис 419



И^браженіе ИИроИ>беранцы

440 Спектры неподвижных $\wedge$ вКзд въ обииемъ сходны со епектромъ солнца, но темн!ия линиі въ нихъ не всегда находяиія въ]^ъ же самыхъ мѣиахъ спектра Оисюиа Мі)І) можемъ заіпочиіиъ, чо неподвижныя звБ^Иы какъ п солнце, имѣюИѣ рк.каиенное я Иро, окруженное обоиочкою раскаиенныхъ паровъ

Секки (ум ІS78) и Фоиель раздели Ии звездъ>И по ихъ спекирами) на Ирн Ируппы соотвъИИ Ивенно свеимосии ихъ поверхносии Первая Ируппа охваиываегъ сииектры бѣлыхъ звизіъ, коюрыя имеютъ ъ Иакую рысокую темпераиуру, чо пары меиаповъ въ ихъ атмосферахъ поилощають свегъ лишь немного ВИ> зиихъ спектрахъ лининъ водорода сильны, а линиі металловъ с Іабы, вІ) некоюрыхъ спектрахъ Іюпа-Іаюиіа п линиі Иелиа (Сириусъ, Вега) Вюрая Ируппа охваиываеиъ спектры звѣздъ, коюрыи нахоиіаіа въ температурахъ, сходныхъ съ условиями нашею солнца Темныя линш поглоиіенш сильны и отчетливы (Капелла, Альдебаранъ) Треиья Ируппа соиержитъ спекіры ЗВБЗДѢ, обладающихъ такой невысокой температурой, чо злемениы, вхоиіаіе въ составъ ихъ атмосферъ, существуютъ ъ уже не въ свободномъ еоиоианш, а только въ виде химическихъ соединений Въ этихъ спекирахъ видны гемныя линиі и полосы (а Геркулеса) В туманнопяхъ обнаружень водородъ и азотъ Повидимому, въ спекіре туманностей биваегъ и линш гелиа

441 Часть Фраунгоферовыхъ линш произво итисъ ноі Іюшениемъ не солнечной, а земной атмосферы Sin Иакъ называемыя теллурическия линш, производимыя азо- томъ, кислородомъ и воиородомъ, заметны резче всего при низкомъ стоянии солнца

так как тогда лучи света должны проходить большую толщу воздуха, чем при высоком положении солнца.

Спектроскопическое исследование света планет показало, что Меркурий, Венера и Марс имеют атмосферы, не очень отличающиеся от атмосферы земли. Напротив того, свет Юпитера и Сатурна дает одну полосу поглощения, которая обуславливается либо особым газом, либо теми условиями давления и температуры, которые господствуют на этих планетах. Атмосферы Урана и Нептуна очень отличаются от земной атмосферы и во всяком случае содержат вещество, не имеющееся в атмосфере земли.

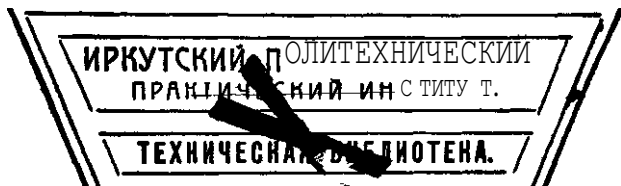
Спектр луны совершенно совпадает с спектром солнца—очевидное доказательство того, что луна не имеет заметной атмосферы.

Кометы частью дают слабый сплошной спектр (отраженный свет солнца), частью спектр углеводов. В иных кометах наблюдались также линии натрия и железа.

44-2. Таким образом, спектральный анализ дал нам возможность исследовать до известной степени физическое и химическое строение самосветящихся небесных тел. Тщательное изучение темных линий солнечного спектра Фраунгофером было первым шагом искусства читать этот язык цветов, а Кирхгофф своим открытием, что раскаленные газы поглощают и излучают свет одной и той же длины волны, дал нам ключ этого светового шифра. В настоящее время спектральный анализ служит вспомогательным средством для научных открытий многих исследователей. С другой стороны он нашел обширное применение при практических работах в лаборатории. И практический химик пользуется не только спектрами излучения со светлыми линиями для обнаружения присутствия какого-нибудь вещества, но также и спектрами поглощения с темными линиями и полосами, которая дает свет, пройдя сквозь поглощающее вещество. Получающийся спектр является признаком поглощающего вещества и многие пары и жидкости дают очень характерные спектры поглощения.

Спектральный анализ нашел чрезвычайно обширное применение. Астрофизик при помощи своего телескопа со спектроскопом обнаруживает присутствие водорода в звездах, удаленных от нас на тысячи световых годов, а практический химик на суде пользуется спектроскопом, чтобы установить факт фальсификации вина или отравления окисью углерода. -Ньютон был прав, назвав изучение чистого спектра многообещающей задачей (ср. § 422).

Кирхгофф имел счастье дожить до быстрого и плодотворного развития спектрального анализа. С 1868 г. он стал болеть и был лишен возможности заниматься экспериментальными исследованиями, когда в 1875 г. он был приглашен в Берлин. Как достойный ученик Неймана, он отдал свои последние силы исследованиям по математической физике. Он умер в 1887 г. Его друг и сотрудник Бунзен, великолепный экспериментатор, умер в 1899 г.



Указатель І тома.

- Аберрация света 261.
Ага аркъ 72
Адамсъ, J. C. Adams 287.
Accademia del Cimento 326.
Аккомодация глаза 102.
Алькуин 46.
Альгазен 90, 99, 101
Аль-Мамун 44.
Альфонс X 46.
Анаксагоръ 72.
Анаксимандр 34.
Анаморфозы 88.
Арабы 44.
Араго, D. F. Arago 263.
Ареометр 190; Никольсона 191.
Аристарх 23 и сл. 33.
Аристотель 22, 46, 74, 101, 103, 114, 135, 137, 141, 144, 161, 182, 195, 214, 216, 367, 374.
Армати. Salvino degli Armati 102
Арфа олова 341.
Архимед 25, 83, 114 и сл., 153, 178 и сл., 189.

Барнардъ, E. E. Barnard 291.
Барометр 218; водяной 228.
Бартолинъ, Bartholinus 257, 383
Бегаймъ, Behaim 49.
Безмен 112.
Бенедетти, Benedetti 163.
Бенценбергъ, Benzenberg 277, 326
Берберини, Berberini 142.
Бернулли, Jean Bernoulli 158.
Бессель, F. W. Bessel 287, 313 и сл.
Билъе, Billet 378.
Билияц 153.
Бианкони, Виансопи 326.
Биения 324.
Био, J. B. Biot 334.
Блок 125, 127.
Боде, Bode 295.
Бойль, Robert Boyle 232, 271, 326.
Бойсъ, Boys 287.
Боме, Baume 191.
Борелли, Borelli 274.

Браге Тихо, Tycho Brahe 12. 29. 54 и сл.- 76. 145, 155, 251, 289. 297.
Брадлей, James Bradley 260. 301
Брама, J. Bramah 188.
Брустеръ, J. Brewster 83, 105, 269, 380, 400.
Бугеръ. Bouguer 254, 284.
Бунзенъ, R. W. Bunsen 418 и сл.
Бэкон Р., Roger Bacon 16. 75, 83. 96.
Бэкон Ф., Francis Bacon 159.
Бэли, Baily 286.

Валленштейнъ, Wallenstein 66
Валлисъ, J. Wallis 170
Вальтеръ, В. Walther 48.
Веберъ, W. und E. Weber 328.
Вентури, Venturi 375
Верде, B. Verde 207.
Вернье (Вернеръ) П., P. Vernier (Werner) 251.
Вивиани, и иапи 143.
Виллисъ. Willis 356.
Винт 114.
Винчи, Leonardo da Vinci 102. 105. 125.
Вителло, Vitello 374.
Витрувий 178.
Витстонъ, Wheatstone 105. 356.
Возмущения планетныя 287.
Волны в воде 326; в воздухъ 330.
Восхождение прямое 29.
Вращение земли 52, 276.
Вульстенъ, W. Wollaston 409—410.
Вес воздуха 218, 238; удельный 189 и сл.
Весы 111; гидростатические 189; Роберваля 130
Высота тона 322.

Галилей, Galileo Galilei 97, 134 и сл., 155. 160. 168, 170. 174, 187. 215. 216. 258. 259. 292 302. 308.
Галле, Galle 288.
Галлей, E. Halley 241, 261, 278, 289, 298, 307, 326.
Гардингъ, Harding 296.
Гармония 349.
Гарсиа, M. Garcia 356.
Гарунъ-аль-Рашид 152,

- Гассенди, P. Gassendi 325, 326.
 Гауссъ, C. F. Gausz 296.
 Геле, P. Hele 158.
 Гелиометр 312.
 Гельмгольцъ, Hermann v. Helmholtz 344 и сл., 353, 356.
 Гендерсонъ, Henderson 315.
 Генке, Henke 296.
 Георг Трапезундский 47
 Гери́ке, Otto v. Guericke 224 н сл
 Герон 80. 152. 194 и сл.. 214. 210.
 Гершель В., William Herschel 287, 304 и сл.
 Гершель Дж., John Herschel 312.
 Гершель Каролина, Caroline Herschel 305
 Гетальди, M. Ghetaldi 189.
 Гёте, W. Goethe 380.
 Гидростатика 179.
 Изе Кульмский 52
 Ипиарх 28 м сл., 42
 ГИИИИИократ 189.
 !лаз 102
 Гласныя 356.
 Глобус небсный 7.
 Глэшеръ, J. Glaisher 246.
 Гномон 11.
 Годенъ, Godin 254.
 Голль, A. Hall 291.
 Голос 355.
 Горизонт 5.
 Горло 355.
 Гороскоп 66.
 Горребовъ, P. Horrebow 260.
 Горы лунныя 139.
 Грамм 256.
 Грегори, J. Gregory 270
 Григорий XIII 16.
 Гримальди, F. Grimaldi 382—383, 396.
 Гукъ, R. Hooke 158, 241, 271, 274 и сл., 368.
 Гульельмини, Guglielmini 277.
 Гэ-Люссакъ, Gay-Lussac 263.
 Гюйгенсъ, Christian Huyghens 151. 155 и сл., 164, 170. 253, 326. 341. 389—380-
 Давление боковое в воде 186; иоды 183; воздуха 218; на дно 184.
 Д'Арландъ, D'Arlandes 245.
 Движение волнообразное 326 и сл ; маятника 149.
 Декартъ, Rene Descartes 99, 162, 170, 368, 376.
 Делюкъ, Deluc 238.
 Демокрит 72, 73, 385.
 Дергэмъ, W. Derham 326
 Дёрфель. Dorfel 297.
 Дифракция света 382.
 Дион Кассий 17.
 Длина световой волны 395.
 Дове. Dove 353.
 Долгота географическая 35.
 Доллондъ, J. Dollond 373.
 Доминисъ. \. de Dominis 376.
 Дондерсъ, F. C. Donders 356.
 Дорога-железная пневматическая 241.
 Дуга дневная и ночная 6
 Деление времени 13; круга 11.
 Евклид 101.
 Евстахио. B. Eustachio 361.
 Жанссенъ, P. J. Janssen 426.
 Жолли. Jolly 287.
 Закон Бойля 235; Кеплера 65, 280; преломления 100.
 Затмения лунныя 40
 Звезды двойныя 309; неподвижныя 304; движения 307. 317: число 308: разстояние 308, 314
 Зеебекъ, Seebeck 353.
 Земля, форма 21. 50, 249; движение 24, 40. 276. 277: величина 23.
 Зенить 12
 Зеркало вогнутое 84; выпуклое 88; глазное 344; горловое 356.
 Зодиак 7.
 Измерение высот барометром 237: градусное 249 и сл.
 Инструменты меридианные 28.
 Интервалы благозвучные 348.
 Интерференция звуковых волн 339: свѣтовых 413.
 Иенсенъ, Jensen 98.
 Йонгъ. Thomas Young 392- 397.
 Кабео. Cabeo 301.
 Кавалло, Cavallo 244.
 Калейдоскоп 83.
 Календарь Юлианский 15; Григорианский 16.
 Каллипп 15.
 Камера-обскура 74, 94.
 Камертон 325, 340.
 Каньяр Делатуръ. Cagniard de la Tour 353.
 Кардани (ъ), O. Cardani 124
 Карл Великий 46. 152.
 Карты, их черчение 36
 Кассини Д. Domenico Cassini 256. 258 и сл , 289. 326.
 Кастелли, P. Castelli 371.
 Кемпеленъ, von Kerapelen 356.

Кёнигъ, Ko'nig 287.
 Кеплеръ, Johannes Kepler 60 и сл., 76, 98,
 100, 102, 273, 289. 295, 297, 302. 368.
 Кирхгоффъ, G. R. Kirchhoff 418 и сл.
 Кирхеръ, A. Kircher 341.
 Клапан 201
 Кларкъ, Clark 317.
 Клеве, Sies 428.
 Клеомед 40. 89
 Клингеншерне, S. KHngensjerne 373
 Ко, S. de Caus 208.
 Коксвелль, Coxwell 246.
 Колеса водяные 211; зубчатые 153.
 Колладонъ, Colladon 333.
 Колодцы артезианские 183.
 Колокол водолазный 241.
 Колумб 48 и сл.
 Кольца Ньютоновы 393, 396; Сатурна 156.
 Кометы 9, 297.
 Кондаминъ, Condamine 254, 284, 326.
 Коперник 27, 51 и сл. 289.
 Корню, Cornu 362.
 Корти, Corti 266.
 Кратценштейнъ, Kratzenstein 356.
 Кремеръ, G. Kremer 38,
 Ктезибий 151. 178, 194, 200.
 Кубок волшебный 199.
 Кэвэндишъ, Henry Cavendish 285.

Лагранжъ, Lagrange 325
 Лактанций 89.
 Лана, Lana 244.
 Лапласъ, P. S. Laplace 332.
 Лассель, Lassel 306.
 Laterna magica 95.
 Леверрье, Leverrier 288.
 Лекселль, Lexell 299.
 Лейбницъ, Leibnitz 270.
 Линзы 90; ахроматическия 374: собира-
 тельныя 91.
 Линии Фраунгофера 411 и сл.
 Линъ, F. Linus 234.
 Липперсгей, Lippershey 97.
 Лиссажу, Lissajou 351.
 Локиеръ, N. Lockyer 428.
 Лонгомонтан 62.
 Луна, движение 8, 272-, расстояние 26, 28;
 время обращения 8; строение 292.
 Людовик XIII, Louis XIII 35.

Мавролик 76, 90, 94, 102.
 Малюсъ, E. Malus 397 и сл.
 Мариоттъ, E. Mariotte 104, 237.
 Мариус (Майръ), Marius (Mayr) 291.

Марс 293.
 Марцелл 115.
 Марци, M. Марси 170, 367.
 Маскелайнъ, Maskelyne 285.
 Масса земли 284 и сл.; небесных тел 283.
 Маятник циклоидальный 158.
 Мельвилль, Th. Melville 416.
 Мельница ветряная 207; ступальная 206.
 Меридиан 35.
 Меркаторъ, Mercator 38.
 Мерсеннъ, Mersenne 163. 221. 323, 326.
 Метон 14.
 Метр 113. 255
 Меций, Metius 97.
 Миллерсъ, Millers 417.
 Митчелль, J. Mitchell 285.
 Млечный Путь 311.
 Молинё, S. Molyneux 260.
 Монгольфье, Mongolfier 244.
 Монте, Ubaldo del Monte 125, 126, 137.
 Мопертюи, Maupertuis 255.
 Морепа, Maurepas 254.
 Морзингъ, Morsing 62
 Мэстлинъ, Mastlin 63.

Надир 12.
 Насос воздушный 226; всасывающий 205.
 нагнетательный 204, 240; пожарный 202.
 Начало Архимеда 181; возможных переме-
 щений или скоростей 129; Гюйгенса 389.
 Нейманнъ, F. Neumann 418.
 Нептун 288.
 Никольсонъ, Nicholson 191.
 Нобль, W. Noble 340.
 Нолле, Nollet 231.
 Нониус 251.
 Норвудъ, Norwood 249.
 Нуньесъ, Nunez 251.
 Ньютонъ, Isaac Newton 168, 253, 268 и сл.,
 276. 284, 297. 299 и сл., 326, 331. 368,
 385 и сл., 399, 409.

Обертонъ 342.
 Ольберсъ, Olbers 296.
 Омар 44.
 Онгстрёмъ, A. Angstrom 423.
 Опыт Торричелли 217.
 Орган Кортиев 362; слуха 360.
 Освальдъ, Oswald 341.
 Отражение света 80 и сл.; полное внутрен-
 нее 100; волн 336; звука 337.

Падение по наклонной плоскости 132 и сл.
 свободное 136, 145.

- Папинъ. D. Рарип 232.
 Парадокс гидростатический 184.
 Параллелограмм сил 167.
 Парменид 21.
 Паскаль, Blaise Pascal 220 и сл. 234.
 Период звезды Пса (Сотисъ) 14.
 Перспектива 72.
 Перье. Perrier 221.
 Пиготъ, Pigot 340.
 Пикарь, Picard 62. 249, 253. 256. 260, 326.
 Пипетка 199.
 Пи агор 19. 322.
 Пиаци, Piazzi 296.
 Планетоиды 296.
 Планеты 9, 42. 52.
 Платон 22. 74. 114.
 Плиний 89.
 Плоскость наклонная 133, 148.
 Площадь круга 116.
 Подвес Карданов 124
 Полибий 115.
 Полиспасты 114, 128; дифференцильный 129.
 Полушария Магдебургския 227.
 Полюсь мира 5; смещение 33.
 Поляризация света 399.
 Порта. Giambattista della Porta 94, 96. 97, 102, 151.
 Посидоний 39.
 Предварение равноденственных точек (Иире-
 цессия) 33, 300.
 Преломление атмосферное 41; двойное 384,
 397, 403; звуковых волн 338; свега
 41. 89 и сл.
 Пресс вишовой 133; И гидравлический 188.
 Призма 90; Николева 404.
 Приливы и отливы 301, 330.
 Иритяжение небесных тел 280.
 Проекция коническая 37; Меркаторская 38;
 стереографическая 36.
 Протуберанцы 425.
 Прохождения Венеры 289.
 Пти, Petit 163.
 Птолемей 23, 33. 37. 41, 42, 43, 44. 47, 74,
 83, 89. 99
 Пурбахъ, Purbach 47
 Пустота 195, 217, 226.
 Пятна солнечныя 140, 425.
 Равновесие 123, 126; плавающих тель 181.
 Равноденствие весеннее и осеннее 7.
 Радуга 374.
 Рамзэй, W. Ramsay 349.
 Рамо, J. Rameau 428.
 Распространение света 71; звука 325, 331.
 Региомонтан 47, 251.
 Рейхъ. Reich 277.
 Резонанс в трубах 345.
 Резонаиор 347
 Рёмеръ, Ole Romer 157, 256 и сл., 326.
 Рень. Ch. Wren 170, 271.
 Реньо. Regnault 236.
 Ретикъ, Rhaeticus 52.
 Риччиоли. Riccioli 249.
 Рише, Richer 252, 289.
 Рихарцъ. Richarz 287.
 Роберваль, Roberval 130.
 Робисонъ, Robison 353.
 Розье, Pilatre de Rozier 245.
 Ромэнъ, Remain 245.
 Румфордъ, Rumford 78.
 Рычаг 109, 119.
 Решетка оптическая 414.
 Сагредо, Sagredo 137.
 Сатурн 292.
 Сванъ, W. Swan 417.
 Свисток 346.
 Свод небесный. вращение 21.
 Светоразсеяние 368.
 Секки, A. Secchi 429.
 Сенека 88. 367.
 Сетос 175.
 Сжатие земли 253.
 Сикст IV 48
 Сила центробежная 164.
 Сирена 353.
 Сисема мира Коперника 52; Птолемея 43
 Тихонианская 60.
 Система планетная 291.
 Сифон 197, 222.
 Скиапарелли, G. Schiaparelli 291.
 Склонение 29.
 Скопления звёздныя 311.
 Скорость света 256 и сл.; звука 326, 332;
 в воде 333.
 Снеллиус (Снелль). Snellius 99, 249.
 Совёръ, J. Sauveur 324, 342.
 Созвездия 5.
 Созиген 15.
 Солнце, движение 7. разстояние 27, 28, 289;
 строение 424.
 Солнцестояние зимнее и летнее 7.
 Сосуд Мариотта 239; Паскаля 184; сообщ-
 ающиеся 182.
 Сотис 14.
 Сохранение энергии 175.
 Спектроскоп 420.
 Спектр 368 и сл.; дифракционный 396, 413;

415, 423; излучения 430; поглощения 430; звезд 429.
 Спенсеръ, Н. Spencer 356
 Спуииики 291: Юпитера 138.
 Стевинъ, Stevin 127, 133, 147, 167, 180 и сл., 185, 301.
 Стекло увеличительное 93.
 Стереоскоп 105.
 Стоксь, G. Stokes 380.
 Страбон 301.
 Сутки звездные и солнечные 30.
 Тальботъ, F. Talbot 416.
 Тарталья, Tartaglia 124, 161.
 Тартини, Tartini 325.
 Телескоп Гершеля 306: зеркальный 270-
 Теодорихъ, Theodoricus de Saxonia 375.
 Теория волнообразная 389; истечения 386, 388.
 Тиндалль, J. Tyndall 336.
 Ти и и у с (Тицъ), Titius (Tietz) 295.
 Тоны симпагические 340: Тартиниевы 350.
 Торричелли, Evangelista Torricelli 143, 170, 216 и сл.
 Тосканелли, Toscanelli 49.
 Точка весеннего равноденствия 8; смещения 32.
 Триангуляция 249.
 Труба зриельная 96.
 Трубки Гейслеровы 422.
 Трубы Евстахиевы 361; органнныя 346; языч-
 ковыя 354.
 Туманности 311
 Тэйлоръ. Brook Taylor 323.
 Угол часовой 29.
 Узлы при колебаниях 342.
 Уллоа, Ulloa 254.
 Ураниенбургъ 57.
 Устойчивость 123.
 Ухо 360.
 Учение о тенях 73.
 Фазы луны 8.
 Факелы солнечные 425.
 Фарадэй, Michel Faraday 405.
 Фаренгейтъ, Fahrenheit 191.
 Ферма, P. Fermat 274.
 Фернель, J. Kernel 249.
 Фигуры Лиссажу 351; на звучащих пла-
 стинках 342.
 Физо, H. L. Fizeau 264.
 Фирис 207.
 Флуоресценция 380.
 Флэмстидъ, Flamsteed 260, 297, 326.

Фогель, Н. С. Vogel 429.
 Фонограф 359.
 Фотометрия 78.
 Фракасторъ, Fracastoro 96.
 Фраунгоферъ, J. Fraunhofer 312, 410 и сл.
 Френель, A. J. Fresnel 400.
 Фуко, L. Foucault 266.
 Хименесь, Ximenes 45.
 Хладни. Chladni 342.
 Хромосфера 425.
 Цахъ, Zach 296.
 Цвета 367 и сл.; дополнительные 381 и сл.;
 радуги 368.
 Цезарь 15, 151
 Целльнеръ, Zollner 424.
 Цельсий, Celsius 255.
 Центр тяжести 119.
 Циклоида 157.
 Цикл Метона 15.
 Цукки, N. Zucchi 271.
 Чаллисъ, Challis 287.
 Часы 151; водяные 151; карманные 158; пе-
 сочные 153; солнечные 31.
 Числа колебаний звука 325; света 395.
 Шарль, Charles 244.
 Шарообразность земли 20.
 Шар воздушный 244; Геронов 202
 Швердъ, Schwerd 415.
 Шейнеръ, Scheiner 98, 102, 104.
 Ширль Shyrl 98.
 Широта географическая 34.
 Штейнгейль, Stdnheil 421.
 Штурмъ, Sturm 333
 Шутень, van Schooten 163, 170.
 Эвдоксъ. 42.
 Эдисонъ, Th. Edison 359.
 Эйлеръ, L. Euler 373, 391 и сл.
 Экваторъ небесный 5.
 Эклиптика 7, 24.
 Элликотъ, Ellicot 341.
 Энергия 175.
 Эпицикл 43.
 Эратос ен 23.
 Эри. G. B. Airy 287, 330.
 Янсень, Jansen 97.
 алес 17. 18. 34.
 еодор Самосский 12,