

9023116

КУДРЯВЦЕВ

P31463



И С А А К
Н Ь Ю Т О Н



У Ч П Е А Г М 3 . 1 0 4 3



И. С. КУДРЯВЦЕВ

И С А А К
Н Ь Ю Т О Н



К 300-ЛЕТИЮ

СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

Под редакцией
проф. А. К. ТИМИРЯЗЕВА



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УЧЕБНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАРКОМПРОСА РСФСР
МОСКВА — 1943

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Начало 1942 и начало 1943 года совпадают с двумя знаменательными годовщинами.

8 января 1942 г. исполнилось 300 лет со дня смерти Галилео Галилея. 5 января 1943 г. исполняется 300 лет со дня рождения одного из величайших ученых, когда-либо живших на земном шаре, — Исаака Ньютона.

С этими двумя именами связана эпоха зарождения современного естествознания и, в первую голову, современной механики, физики и астрономии.

С этими двумя именами связана также память о жестокой борьбе науки с отжившими предрассудками, тормозившими развитие научной мысли.

Но роли этих двух великих мыслителей в разгоревшейся борьбе были весьма различны.

Галилей не только наносил сокрушительные удары своими бессмертными трудами по обветшавшей системе Птолемея и сопутствовавшей ей схоластике, но и постоянно выступал в многочисленных схватках со сторонниками отжившего мировоззрения как бесстрашный защитник передовой по тому времени науки.

Ньютон своими гениальными исследованиями нанес еще более сильные удары уходящим со сцены предрассудкам, чем это сделал Галилей, но в то же время он всячески пытался уклониться от прямого участия в спорах с противниками своих взглядов.

В предлагаемой вниманию советского читателя небольшой книжке т. Кудрявцева дается прежде всего живо написанная

картина состояния науки в половине XVII века, и на фоне этой картины излагаются в возможно доступной форме великие труды Ньютона. При этом не только излагается содержание его великой книги «Математические начала натуральной философии» и его «Оптики», но и дается понятие о созданном им «Методе флюксий», т. е. о созданных им основах анализа бесконечно малых.

Весьма существенной стороной книги т. Кудрявцева является то, что в ней автор выясняет роль руководящих в эпоху Ньютона философских взглядов Бэкона и Декарта.

Но особенно ценным в этой книге является то, что она вскрывает философскую и политическую борьбу, которая бушевала вокруг великих творений Ньютона. Она вскрывает те искажения, которые были внесены во второе издание его знаменитых «Начал» под давлением редактора второго издания профессора Котса и стоявшего за его спиной епископа Бентли.

Ньютон, тщательно избегавший всяких споров, не проявил и в этом случае достаточной твердости, и в результате вплоть до настоящего времени изменения, внесенные во второе издание Котсом, часто принимаются за взгляды самого Ньютона. По этой причине даже при первом знакомстве с трудами Ньютона необходимо строго разграничить взгляды Ньютона и Котса, и в этом отношении книжка т. Кудрявцева принесет, несомненно, большую пользу. Напомним отзыв о Котсе, данный Максвеллом — великим соотечественником Ньютона еще в половине XIX века: «Котс был первым еретиком, вскормленным на груди ньютонианства».

Умело подобранные т. Кудрявцевым данные о политической борьбе эпохи Ньютона вскрывают перед читателями картину того, как политическая борьба вторгается не только в жизнь ученого, но и в самое содержание его исследований.

По иронии судьбы Ньютон, всячески избегавший философских споров, против своей воли, только благодаря своим научным трудам, оказался в самом фокусе этих споров, теснейшим образом связанных с политической борьбой того времени.

Но если Ньютон не был бесстрашным борцом, каким был Галилей, и если он порой проявлял малодушие, то своими бессмертными трудами он создал прочную основу современной механики, физики и астрономии и могучими ударами смел с их пути вековые предрассудки.

Вот почему весь культурный мир чтит в Ньютоне представителя подлинно передовой пауки, память о котором, как об одном из творцов и создателей современной науки — современной культуры, особенно близка в те грозные дни, когда все, что есть лучшего на земле, ведет борьбу не на жизнь, а на смерть с фашистскими полчищами — злейшими врагами культурного мира, каких только когда-либо видела история.

А. Тимирязев.

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Ньютоном завершается один из самых блестящих и плодотворных периодов в истории естествознания, период формирования новой науки. «Первый период нового естествознания заканчивается — в области неорганического мира — Ньютоном», — говорит Энгельс. Великие «Principia» Ньютона представляют собой как бы океан, в который вливаются бегущие по многочисленным руслуам реки нового знания. Этой ролью Ньютона можно объяснить и те споры о приоритете, которые велись вокруг каждого его открытия, столь утомлявшие и раздражавшие великого ученого. Идеи, занимавшие Ньютона, были центральными идеями его эпохи, и «Principia» Ньютона являются подлинной энциклопедией физико-математических наук того времени.

Но завершая период формирования нового естествознания, Ньютон одновременно закладывает фундамент того здания, которое в наше время получило название классической физики. Обобщив в стройную логическую систему основные достижения современной ему физики, Ньютон разработал программу развития классической физики, указав на долгие времена ее цели и методы. На базе ньютоновской

физики сложились блестящие успехи новой науки и техники. Переход от классической физики к современной не означает отмены физики Ньютона, а только ограничивает область ее значимости и применения. Но этот же переход делает весьма актуальным анализ истоков классической физики и идейной борьбы при ее возникновении.

В настоящей работе сделана попытка дать очерк истории возникновения классической физики. Ньютон является тем фокусом, в котором концентрируются линии этого процесса. Личность Ньютона, его воззрения и склонности приобретают в этом свете выдающееся значение. К сожалению, условия военного времени не позволили автору использовать новые материалы для характеристики воззрений Ньютона и его позиции в общественно-философских спорах. Да и неуместно было бы в популярной книге поднимать спорные вопросы. Правильнее и осторожнее будет поступать так, как и сам Ньютон, — строить выводы на базе определенно установленных фактов и привлекать в качестве основного материала его собственные высказывания в напечатанных при его жизни трудах.

Эта книга подготавливалась в эпоху, когда новые гунны обрушились на великую человеческую культуру и в первую очередь на цитадель всего прогрессивного в современном человечестве — Советский Союз. Верный своей исторической миссии Советский Союз в тяжелой и упорной борьбе с подлым и жестоким врагом, отстаивая свою свободу и независимость, отстаивает дело всего прогрессивного человечества. В борьбе со средневековым варварством сложилась и окрепла современная наука, в передовой шеренге которой стояли такие мужи науки, как Галилей и Декарт, Бэкон и Спиноза, Гюйгенс и Ньютон. Дело, начатое этими великими людьми, и защищает сегодня Страна Советов.

I. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В XVII ВЕКЕ.

Расцвет естество-
знания.

Науки о природе переживали в XVII веке полосу пышного расцвета. Как после весенних теплых дождей начинают с поражающей быстротой разворачиваться накопленные за зиму силы природы, так и после долгой спячки средневековья естествознание, как бы получив извне мощный импульс, начало развиваться с невиданным размахом и блеском. В начале века мы встречаем такие имена, как имена Галилея, Кеплера, Бэкона. В середине века живут и творят Декарт, Гассенди, Гоббс, Спиноза, флорентийские академики, Паскаль, Бойль и др. Конец века отмечен именами Гюйгенса, Лейбница, Локка и, наконец, величественным именем Ньютона. В XVII веке начали работать такие славные научные учреждения, как Лондонское королевское общество и Парижская академия наук, успешная деятельность которых послужила сигналом к учреждению академий и в других странах Европы. В это же время возникает научная периодика сначала в виде ученых записок Лондонского королевского общества («Philosophical Transactions of the Royal Society of London») и Парижской академии («Journal des Savants») и затем Лейпцигских ученых записок («Acta Eruditorum»). В XVII веке сокровищница человеческой мысли обогатилась такими произведениями, как «Диалоги»¹⁾ и «Беседы»²⁾ Галилея,

¹⁾ «Диалоги о двух системах мира Птоломеевой и Коперника» — знаменитое сочинение Галилея, за которое он подвергся суду инквизиции, вышло в свет в 1632 г.

²⁾ «Беседы и математические доказательства о двух новых науках» — основоположное сочинение Галилея, вышло в свет в 1638 г.

«Рассуждения о методе» (1637) и «Начала Философии» (1644) Декарта, «Новый органон» (1620) Бэкона, «Химик-скептик» Бойля, «Маятниковые часы» и «Трактат о свете» Гюйгенса и, наконец, великие «Математические начала натуральной философии» Ньютона. В эту эпоху окончательно сформировалась новая физика, возникает научная химия, развилась современная наблюдательная и теоретическая астрономия, получили мощный толчок биологические науки, сформировалось и окрепло в борьбе с средневековой схоластикой и мракобесием новое мировоззрение. Отсюда берут своё начало все последующие течения научно-философской мысли. Короче говоря, XVII век был веком зарождения и формирования новой науки, в корне отличной как от античной науки, так и от науки эпохи феодализма.

**Ломоносовская
характеристика
этого периода.**

Очень точно и ярко рисует этот переворот в науке великий русский ученый Ломоносов. В своем предисловии к переводу «Вольфгангской физики»¹⁾ он пишет: «Мы живем в такое время, в которое науки после своего возобновления в Европе возрастают и к совершенству приходят. Варварские веки, в которые купно с общим покоем рода человеческого и науки нарушались и почти совсем уничтожены были, уже прежде двух сот лет окончились... Славный и первый из новых философов Картезий²⁾ осмелился Аристотелеву философию опровергнуть и учить по своему мнению и вымыслу. Мы кроме других его заслуг особенно за то благодарны, что тем ученых людей ободрил против Аристотеля, против себя самого и против прочих философов в правде спорить, и тем самым открыл дорогу к вольному философствованию и к вящему наук приращению. На сие взирая, коль много новых изобретений искусные мужи в Европе показали и полезных книг сочинили! Лейбниц, Кларк, Лок, премудрые рода человеческого учителя, предложением правил рассуждения и нравы управляющих Платона и Сократа превысили. Малпигий,

¹⁾ «Вольфгангская экспериментальная физика». СПб, Академия наук, 1760.

²⁾ Декарт.

Бойл, Герик, Чирнгаузен, Штурм и другие... любопытным и рачительным исследованием нечаянные в натуре действия открыли и теми свет привели в удивление. Едва понятно, коль великое приращение в астрономии неусыпными наблюдениями Кеплер, Галилей, Гугений ¹⁾, де ла Гир и великий Невтон в краткое время учинили: ибо толь далече познание небесных тел открыли, что ежели бы ныне Иппарх и Птоломей читали их книги, то бы они тое же небо в них едва узнали, на которое в жизнь свою толь часто сматривали. Пифагор за изобретение одного геометрического правила Зевесу принес на жертву сто волов. Но ежели бы за найденные в нынешние времена от остроумных математиков правила по суеверной его ревности поступать, то бы едва в целом свете столько рогатого скота сыскалось. Словом в новейшие времена науки столько возросли, что не токмо за тысячу, но и за сто лет жившие едва могли того надеяться».

Причины пере-
ворота в науке. Каковы же были причины этого «величайшего прогрессивного переворота», как назвал его Энгельс? ²⁾. Точный ответ на этот вопрос мы находим у классиков марксизма. У того же Энгельса читаем:

«Когда после темной ночи средневековья вдруг вновь возрождаются с неожиданной силой науки, начинающие развиваться с чудесной быстротой; то этим чудом мы опять-таки обязаны производству»³⁾). Последние десятилетия XV века ознаменовались появлением новых изобретений и усовершенствований в ремесленном производстве: самопрялка, педальный ткацкий станок, наливные колеса, доменное производство, порох, компас, печатный станок и т. д. Эти изобретения для развития естественных наук имели то значение, что была создана предпосылка для развития *экспериментальной науки*. В социальной жизни рост производительных сил внутри феодального общества ускорялся внедрением мануфактурного способа производства и разделением

1) Гюйгенс.

2) Энгельс, Дialeктика природы, Госполитиздат, 1941, стр. 6.

3) Там же, стр. 14.

труда между городом и деревней. Натуральное феодальное хозяйство разлагалось, интенсивно развивалось товарное хозяйство, одновременно с ростом которого росла и торговля. Рост последней способствовал развитию мореплавания и привел к великим географическим открытиям конца XV, начала XVI века. Устои феодального общества подтачивались, производственные отношения заменялись новыми, буржуазными отношениями, шел процесс формирования основных классов капиталистического общества: буржуазии и пролетариата. Буржуазия возглавила борьбу широких народных масс против стеснительных феодальных порядков. Начиналась эпоха буржуазных революций. «Свободное развитие буржуазии стало уже несовместимым с феодальным строем, феодальная система должна была пасть»¹⁾).

Новым порядкам должна была содействовать и новая идеологическая оболочка. Католическая церковь, монополизировавшая науку, была мощным оплотом феодальной системы, ее «великим интернациональным центром»²⁾). Поэтому восстание буржуазии против феодальных пут было направлено в первую очередь против этого центра и приняло религиозную окраску. Такова была реформация в Германии, национальная революция в Нидерландах, английская революция. Все эти революционные выступления народных масс имели целью сокрушить феодальное общество и — в конечном итоге — установить новые буржуазные порядки. Ломка старых общественных отношений и была непосредственной причиной возникновения и расцвета новой науки. «Шаг за шагом вместе с расцветом буржуазии шел гигантский рост науки. Возобновился интерес к астрономии, механике, физике, анатомии, физиологии. Буржуазии, для развития ее промышленности, нужна была наука, которая бы исследовала свойства материальных тел и формы проявления сил природы. До этого же времени наука была смиренной служанкой церкви и ей не было позволено выходить

¹⁾ Маркс и Энгельс, Соч., т. XVI, ч. 2. стр. 295—296.

²⁾ Там же.

за пределы, установленные верой; короче, — она была чем угодно, только не наукой. Теперь наука восстала против церкви: буржуазия нуждалась в науке и приняла участие в этом восстании»¹⁾.

Итак, средневековая схоластическая наука, культивировавшаяся в монастырях и в находившихся под эгидой церкви университетах, обеспечивала запросы и интересы феодального общества. Но она оказалась совершенно непригодной для новых потребностей и должна была замениться новой наукой, соответствовавшей этим потребностям и накопленным новым фактам. Из этих обстоятельств вытекали задачи новой науки.

Потребности торговли способствовали развитию путешествий и мореплавания. Падение Константинополя (1453) и распад монгольского царства имели следствием закрытие старых караванных путей в Индию и Китай, подорвали значение итальянских городов (особенно Венеции) в мировой торговле. Выдвигаются страны Пиренейского полуострова, начавшие поиски новых торговых путей. Эти поиски привели к великим географическим открытиям. В 1492 г. Колумб открыл Америку. Через пять лет (1497—1498) Васко да Гама, обогнув Африку, достиг морским путем Индии и, наконец, в 1519—1522 гг. Магеллан совершил первое кругосветное путешествие.

Так были разбиты рамки старого «*Orbis terrarum*» (круга земель) феодального общества. Горизонт человека неизмеримо расширился, накопился огромный естественнонаучный материал, который предстояло разработать.

«Главная работа в начавшемся теперь первом периоде развития естествознания заключалась в том, чтобы справиться с имевшимся налицо материалом»²⁾. Эта центральная задача не могла быть решена в рамках старого теоретического мышления, старого схоластического мировоззрения. Стало быть, науке надо было разработать и утвердить новое

¹⁾ Маркс и Энгельс, Соч., т. XVI, ч. 2, стр. 295—296.

²⁾ Энгельс, Диалектика природы, стр. 7.

мировоззрение, ниспровергнуть средневековые взгляды на строение мира, разработать и утвердить новые теоретические основы науки, выработать программу и методы новой науки.

Конкретные задачи физики вытекали в первую очередь из потребностей мореплавания и военного дела. Колонизаторская политика европейских стран приводила к жесточайшей конкуренции между этими странами. Если в первое время вновь открытый мир был поделен между Испанией и Португалией, то в конце XVI и в XVII веке выдвигаются Нидерланды и Англия. В этой борьбе широкое распространение получили пиратство и контрабанда. Проблема безопасности и надежности мореплавания стояла очень остро. Чрезвычайно важно, например, было во-время определить характер приближающегося корабля. Так практика поставила задачу построения подзорной трубы. Та же практика поставила на очередь решение задач баллистики и небесной механики. Старая астрономия не справилась с задачей простого и точного описания движения небесных светил. Определение астрономических долгот в свою очередь выдвигало проблему часов.

Итак, первоочередными проблемами физики стали проблемы механики и оптики. Именно эти разделы получили такое мощное развитие в рассматриваемый период.

Так как в первую очередь необходимо было разобраться в накопленном материале, то отсюда, естественно, вытекал *аналитический* метод изучения. Мир расчленялся, явления природы разбивались на отдельные, не связанные между собой группы. Отсюда и вытекало то обстоятельство, что, несмотря на наличие элементов диалектики у отдельных ученых (особенно у Декарта и Спинозы), общий облик нового естествознания приобретал метафизический характер: «наука все еще глубоко сидела в теологии» (Э н г е л ь с). На смену средневековой схоластике пришел механистический материализм. В рассматриваемую эпоху этот механистический материализм был прогрессивным явлением, ибо «действительная наука не выходила еще из рамок механики земной и космической» (Э н г е л ь с), но при дальнейшем развитии

физики ограничивающая роль механицизма стала тормозом научного прогресса.

Борьба за новое мировоззрение. Обратимся теперь к более подробному рассмотрению научных результатов доньютоновского естествознания. Как было указано выше, первоочередной задачей деятелей новой науки была борьба со старым мировоззрением и утверждение нового. В этой борьбе выдвинулись такие мужи науки, как Галилей и Бруно, «которые умели ломать старое и создавать новое, несмотря ни на какие препятствия, вопреки всему» (С т а л и н). Костер мученика науки Джордано Бруно, запылавший 17 февраля 1600 г., свидетельствовал не только об ожесточенности этой борьбы — он символизировал зарю нового дня науки, в наступлении которого был уверен и Бруно, бросивший судьям гордые слова: «Вы больше испытываете страха, произнося мой приговор, чем я, его принимая». Героическая борьба Галилея завершила дело, начатое Коперником и продолженное Бруно.

Средневековая наука опиралась на авторитет. Разум и чувственные ощущения не могли, как полагали мыслители средневековья, служить надежными помощниками в отыскании истины. Собственно, истина была уже открыта в откровениях отцов церкви, а что касается физических законов мира, то непогрешимым авторитетом здесь был Аристотель, искаженный и приспособленный к нуждам церкви, Аристотель, у которого «поповщина убила... живое и увековечила мертвое» (Л е н и н). Картина мира по аристотеле-птоломеевской схеме выглядела так: вселенная была ограничена сферой неподвижных звезд, в центре вселенной помещалась построенная из четырех элементов (огонь, воздух, вода и земля) неподвижная Земля. Этому элементному, изменчивому и разрушаемому миру противопоставляется квинтэссенция (пятый элемент), образующая благородную, вечную природу небесного мира и небесных тел. Это иерархическое представление о вселенной всецело соответствовало феодальному иерархическому порядку и было объявлено церковью единственно правильным, освященным божественным авто-

ритетом. Задача борцов за новое мировоззрение заключалась в том, чтобы разбить это ветхое учение и заменить его новым, соответствующим реальному, а не воображаемому миру. Но для этого надо было бросить вызов церковному авторитету. Этот шаг был сделан Коперником.

«Революционным актом, которым изучение природы заявило о своей независимости и как бы повторило лютеровское сожжение папской буллы, было издание бессмертного творения, в котором Коперник бросил — хотя и робко и, так сказать, лишь на смертном одре — вызов церковному авторитету в вопросах природы. Отсюда начинается освобождение естествознания от теологии...»¹⁾

Шаг, сделанный Коперником, имел огромное значение для дальнейшего развития научной мысли. Переместив центр вселенной с Земли на Солнце, Коперник не только достиг простоты и ясности описания движения небесных светил; он поставил под сомнение вопрос о самом существовании неподвижного центра. Именно так и поняли дело продолжатели Коперника—Бруно и Галилей. Но учение Коперника стояло в резком противоречии с обычным житейским опытом, который не обнаруживает движения Земли.

Преимущества системы Коперника были понятны только специалисту-астроному, а при полном неведении относительно законов динамики трудности, связанные с принятием схемы Коперника, казались непреодолимыми. В самом деле, как согласовать с учением о движении Земли то, что отделенные от нее облака и птицы не обнаруживают никакого отставания, что камень всегда падает к подножию башни, хотя башня движется вместе с Землей, и т. д. Галилей правильно оценил ситуацию, придя к заключению, что борьба за систему Коперника требует тщательной подготовки и неопровержимой научной аргументации. Ознакомившись с учением Коперника и оценив его преимущества, он долгое время не решался выступить в его защиту, «устрашенный, — как он сам писал Кеплеру, — судьбою учителя нашего

¹⁾ Энгельс, Дialeктика природы, стр. 7.

Коперника. У немногих стяжал он бессмертную славу, и бесчисленным множеством — ибо таково число глупцов — осмеян и освистан»¹⁾.

Когда в руках Галилея оказалась подозрительная труба и с помощью ее были открыты спутники Юпитера, давшие прообраз системы Коперника, а в дальнейшем фазы Венеры, он выступил открыто и с исключительным блеском в защиту нового учения. Но церковь уже почувствовала смертельного врага и декретом конгрегации 5 марта 1616 г. запретила пропаганду системы Коперника. В вынужденном молчании Галилей подготавливал новую физическую аргументацию в защиту этой системы. Новому учению не хватало основ динамики, и Галилей начал разработку динамики. Установление закона инерции и тесно связанного с ним закона независимости действия сил и принципа относительности устраняло всякие сомнения, связанные с принятием этой системы. В результате, несмотря на деятельность инквизиции, добившейся осуждения Галилея и его отречения, система Коперника получила прочную основу и в научных кругах стала общепринятой. Насколько это имело существенное значение, видно уже из того, что такие выдающиеся деятели, как астроном Тихо де Браге и философ Бэкон, не принимали системы Коперника, и не только по богословским соображениям. После же Галилея ни один ученый не мог аргументировать против нового мировоззрения, если только он не прибегал к антинаучным, богословским «доводам».

Здесь мы подчеркнем, что борьба за новое мировоззрение привела Галилея к установлению принципов динамики. Завершение этой борьбы приведет Ньютона к установлению закона всемирного тяготения. Разрабатывая философскую, астрономическую и физическую аргументацию в пользу новой системы мира, Галилей не уточнял самой системы, которая была еще далека от совершенства. Коперник сохранил круговые орбиты Птолемея и кое-где эпициклы. Современ-

¹⁾ Любимов История физики, т. III.

ник и друг Галилея знаменитый астроном Кеплер посвятил свою жизнь уточнению системы Коперника в целях наилучшего ее согласования с астрономическими фактами. Используя данные Тихо по наблюдению движения планеты Марс, Кеплер в результате напряженной работы пришел к установлению своих двух первых законов движения планет: эллиптическая форма орбит с Солнцем в фокусе, а не в центре и постоянство секториальной скорости движения планет. Эти законы были установлены им в 1609 г., а через десять лет им был открыт и третий закон, связывающий времена обращения планет с их расстоянием от Солнца. Таким образом Кеплеру удалось построить ясную, хорошо описывающую астрономические факты небесную кинематику. Для окончательного упрочения системы Коперника оставалось найти динамические основы движения планет. Решение этой задачи выпало уже на долю Ньютона.

**Теоретическая
основа нового
естествознания.**

Успех борьбы за новое мировоззрение был обеспечен не логической аргументацией (хотя диалектика Галилея была блестящей и неотразимой), а соответствием ее новым фактам. В борьбе за новое мировоззрение все более и более отчетливо выяснялось огромное значение эксперимента в естествознании. Начатая еще деятелями эпохи Возрождения критика методологических основ средневековой науки достигла наивысшего размаха у Галилея, Бэкона и Декарта. Решающий удар был нанесен этими мыслителями. Они показали бессилие старой науки справиться с новым материалом, продемонстрировали застой схоластической науки, в то время как технические изобретения и опытные наблюдения, «как бы восприняв живительное дуновение, растут и совершенствуются с каждым днем» (Бэкон). Они провозглашали доверие к разуму, дающему свои заключения из чувственных впечатлений. Разрушая методологию схоластической науки, они создавали методологию новой науки. Огромное значение для развития естествознания имела теоретическая работа Бэкона и Декарта, основные результаты которой мы сейчас изложим.

Бэкон.

Из задуманного Бэконом огромного сочинения «Великое восстановление науки» были написаны им только две части, одна из которых, а именно вторая — «Новый органон» — имеет особо важное значение. Уже самый план сочинения показывает грандиозность замысла Бэкона, стремившегося изложить методологию и энциклопедию нового знания. Работа Бэкона по методологии науки распадается на две части: критическую и программную. В критической части Бэкон с исключительной силой и блеском бичует схоластическую науку. Сравнивая достижения этой науки с успехами техники и мореплавания, он делает уничтожающий вывод о полном бессилии старой теории перед лицом новой практики. Нельзя оставаться на старых теоретических позициях, так как «в наши времена открыта большая часть Нового света, известны все очертания старого и масса опытов или наблюдений возросла до бесконечности»¹⁾.

Причину печального состояния теоретических наук своего времени Бэкон усматривает в неправильном методе их, в неправильной цели и в дурном общественном положении наук. Неправильный метод старых естествоиспытателей заключался в том, что они были или догматиками, или эмпириками. Их можно было уподобить либо пауку, либо муравью. Подобно пауку, ткущему пряжу из себя, догматики пытались установить законы природы исключительно размышлением и воображением, не прибегая к опыту, не опираясь на данные чувственных показаний. Эмпирики, подобно муравьям, таскающим все, что им попадет, в свой муравейник, ограничиваются беспорядочным собиранием фактов. Такой метод не может дать положительных результатов. Отсутствие рационально поставленного эксперимента — вот первая причина, по мнению Бэкона, печального состояния наук.

Вторая причина заключается в неправильно поставленной цели наук. Вместо того чтобы ограничиться исследованием

¹⁾ Бэкон, Соч., пер. Бибикова, т. II, СПб 1874.

непосредственных закономерностей между явлениями (установлением «средних причин», по терминологии Бэкона), схоластические ученые пытаются добраться до «конечных» причин, воспаря разумом от первичных наблюдений прямо к заоблачным конечным целям мироздания. Такая постановка вопроса не может, по мнению Бэкона, привести к положительным результатам.

Самое положение науки в обществе является ложным. Она не пользуется должным вниманием и почетом, что, естественно, и не ведет к ее преуспеянию.

Надо устранить эти недочеты, прежде чем приступать к созданию новой науки. Однако на пути к этой цели встречаются еще значительные трудности, мешающие отысканию истины. Трудности эти, или, как назвал их Бэкон, «Призраки ума», бывают четырех родов: 1) призраки пещеры, 2) призраки рода, 3) призраки рынка, 4) призраки театра. Здесь Бэкон дает очень тонкий (местами) анализ возникновения заблуждений. Источники заблуждений кроются в недостатках человеческого ума («призраки рода»), обладающего инерцией, склонностью к привычным представлениям, в специфических склонностях индивидуальных умов, обусловленных особенностями воспитания («призраки пещеры»), в влиянии обычного словоупотребления («призраки рынка»), в преклонении перед авторитетными теориями и традициями («призраки театра».) Чтобы разум мог успешно преодолевать эти трудности и приходить к правильным выводам, ему надо подать помощь в виде правильного и надежного метода.

Бэкон, родоначальник английского материализма, из анализа природы человеческих заблуждений отнюдь не делает пессимистического вывода о невозможности познания объективной действительности. Наоборот, такое познание вполне достижимо, и при этом Бэкон ссылается на практические результаты научных достижений. Но он предостерегает и от узкого практицизма, говоря, что наука нуждается не столько в «плодоносных», сколько в «светоносных» опытах. С надежной помощью метода разум способен открывать

истинные «формы» природы, т. е. законы, управляющие течением явлений природы.

Какой же метод предлагает Бэкон?

Источником познания является чувственный опыт. Но экспериментирование — отнюдь не голый эмпиризм. Истинный ученый должен работать не как паук и не как муравей, а как пчела, подвергая опытные данные рациональной обработке. Эта рациональная обработка должна проводиться методом индукции: частные результаты обобщаются в аксиомы. Процесс познания слагается в виде ступеней, ведущих от частных фактов к наиболее общим выводам. Бэкон подвергает резкой критике метод дедукции, при котором, по его мнению, разум сразу воспаряется к общим выводам, из которых аналитической работой ума приходят к частным законам. Излагая основы своего индуктивного метода, оказавшего огромное влияние на английскую научную школу, Бэкон указывает на важность коллективной научно-экспериментальной работы, развивая идею об организации научных учреждений. В фантастической повести «Новая Атлантида» он изображает такой храм науки в виде «дома Соломона». Этими предначертаниями Бэкона воспользовалась молодая английская наука, воплотившая их в знаменитом Лондонском королевском обществе. При рациональной обработке экспериментальных данных большую помощь при отборе оказывают, по Бэкону, отдельные «примеры» или указующие опыты. У Бэкона фигурирует целый ряд таких «примеров» под разнообразными названиями. В науке прочно утвердилось только одно из этих названий — «пример креста» (*experimentum crucis*), происходящее от крестов с обозначениями на перекрестках дорог. Так называются теперь опыты, призванные решить вопрос о предпочтении одной теории другой. Например, опыт Фуко по измерению скорости света в воде считался современниками таким экспериментом, решающим спор между корпускулярной и волновой теорией в пользу последней.

Самый процесс отбора, в результате которого должен получиться правильный научный вывод («форма» Бэкона),

строится следующим образом. Сводятся все факты, в которых фигурирует изучаемое явление («таблица положительных инстанций»), затем аналогичные факты, в которых такое явление отсутствует («таблица отрицательных инстанций»). Сопоставлением таких таблиц будут исключены те факты, которые являются не существенными для данного явления, ибо оно может происходить без них, как показывает таблица отрицательных инстанций. Затем составляется таблица сравнений, показывающая, какую роль играет усиление одного фактора для данного явления. В результате такого анализа получится искомая «форма». Любопытно, что сам Бэкон, взяв для исследования совершенно не разработанный в его время вопрос о природе тепла, приходит, несмотря на крайне поверхностное и наивное составление своих таблиц, к правильному выводу, что теплота является внутренней формой движения тела, движением его частиц.

Итак, метод Бэкона — индуктивно-эмпирический. Бэкон рекомендует при этом проводить расчленение явлений природы, разложение их на составные элементы. Таким образом, метод Бэкона оказывается и аналитическим. От Бэкона ведет свое начало линия индуктивизма в естествознании, стремящаяся порвать с гипотезами и объяснениями. Это именно та линия, которая выродилась в феноменологическую школу в теоретической физике. Мы вернемся еще к этому вопросу при рассмотрении ньютоновских концепций.

Другая линия теоретической мысли ведет свое происхождение от Декарта. Как и Бэкон, Декарт резко выступает против старой теоретической схемы, против авторитета схоластического Аристотеля. Как и Бэкон, Декарт считает необходимым установить новые принципы познания. Но в отличие от Бэкона Декарт, отнюдь не умаляя роли и значения опыта, на первый план выдвигает разум, здравый смысл. В первую очередь, по Декарту, надо достигнуть ясности понимания. Он ставит своей задачей отыскать простые, ясные, самоочевидные истины, из которых логически-дедуктивным путем могут быть получены следствия, касающиеся частных закономерностей.

Декарт.



Исходным пунктом должны быть надежные положения. Декарт подвергает анализу и критике различные аксиомы, сомневаясь в каждом, казалось бы самоочевидном, положении. Единственной истиной, выдержавшей, по мнению Декарта, жестокую проверку акта сомнения, является положение: «мыслю, следовательно существую». Таким образом, исходным пунктом метафизики Декарта является существование мыслящего субъекта. Из этого пункта легко можно сделать субъективно-идеалистические выводы. Декарт этого вывода не делает. Опираясь на понятие бога и считая, что бог не может быть обманщиком, Декарт приходит к выводу об объективном существовании внешнего мира, управляемого естественными внутренними законами, которые вполне могут быть открыты работой разума.

Таким образом, философская позиция Декарта не отличается последовательностью (то же, хотя и в меньшей степени, относится к Бэкону), и Декарт является дуалистом. Из своей физики Декарт очень быстро устраняет бога и выступает уже с чисто материалистических позиций. Декарт не сомневается в возможности познания внешнего мира, но, так же как и Бэкон, полагает, что разум должен быть вооружен надежным методом. Свой метод Декарт сводит к следующим четырем правилам:

1) «принимать за истинное лишь то, что с очевидностью познается мною таковым, т. е. избегать поспешности и предубеждения и принимать к суждению лишь то, что представляется так ясно и раздельно моему уму, что никаким образом не может быть подвергнуто сомнению»;

2) «дробить каждую из трудностей, какие буду разбивать, на столько частей, сколько только можно, дабы их лучше разделить»;

3) «...всякие мысли по порядку начинать с предметов простейших и легчайших и восходить мало-помалу, как по ступеням, до познания более сложных, допуская, что есть порядок даже между такими, которые естественно не предшествуют одни другим».

«В последних делать всюду перечни столь полные и обзоры

столь общие, чтобы быть уверенным, что ничего не опущено»¹⁾).

Этот метод Декарта в математике приводит его к идее сведения геометрических зависимостей к более простым и общим алгебраическим зависимостям, т. е. к методу аналитической геометрии. В области учения о природе этот же метод означает требование построения простого и общего механизма явлений. Наиболее простым и общим свойством материальных вещей Декарт считает протяженность, и эту протяженность он принимает за единственный атрибут материальности. Мир Декарта — это материальное пространство. Пустоты, по Декарту, в природе нет, весь мир — однородная протяженная материя. Эта протяженная материя раздроблена на куски — частицы, отличающиеся друг от друга по форме и величине. Величина частицы определяет количество ее вещества — массу. Наиболее мелкие, разнообразные по форме частицы, могущие заполнить промежутки между другими частицами, составляют первый элемент — элемент *огня*. Отшлифованные, круглые частицы образуют второй элемент — элемент *воздуха*, и оставшиеся более крупные угловатые части образуют третий элемент — элемент *земли*. В акте творения бог, раздробив материю на эти составные части, сообщил им разнообразные хаотические движения и в дальнейшем, так сказать, «самоустранился» от вмешательства в ход событий, предоставляя природе полную возможность действовать по собственным законам. Следовательно, Декарт требует изначального создания материи и движения, причем под последним Декарт понимает только механическое движение. Этим Декарт отличается и от перипатетиков и от Бэкона, допускающих различные качественные формы движения. Природа, по Декарту, управляется простыми механическими законами, которых достаточно, чтобы привести мир из состояния полного хаоса при его создании в согласованный в своих частях, закономерно действующий

¹⁾ Декарт, Рассуждение о методе, ч. II. Цит. по Любимову, Философия Декарта, СПб 1886, стр. 46—47.

механизм. Этими простыми основными законами природы, по Декарту, являются закон инерции и закон сохранения количества движения. Материальные тела без внешних воздействий продолжают двигаться наиболее простым образом, т. е. равномерно и прямолинейно. Количество движения, сообщенное миру при творении, не может измениться, и всякая частица, изменив в результате взаимодействия с другими частицами свое движение, распределяет компенсирующее изменение между этими другими частицами. В соответствии с этими законами Декарт набрасывает очерк эволюции мира из хаоса, рисуя картину возникновения звезд (к которым он относит и Солнце), планет, комет и промежуточного пространства. Так как в природе пустоты быть не может, то все движения частиц по необходимости должны быть циклическими. Вселенная разбивается на бесконечное количество грандиозных вихрей — солнечных систем. В центре каждого такого вихря звезда — Солнце, вокруг которой носятся сцепленные части элемента земли, образующие планеты, увлекаемые общим вихревым движением. Кометы — тела, вытесненные к периферии вихря, по разветвляющемуся руслу могут переходить из одного вихря в другой, т. е. от одной звездной системы к другой. Эта декартова картина мира окончательно разбивает рамки старой замкнутой вселенной схоластиков, облекая учение Бруно о множестве миров в наглядную схему миров-вихрей. Диалектичным является учение Декарта о развитии мира из первоначального хаоса. Это первый прообраз космогонических гипотез, и автор одной из современных космогонических гипотез — Джинс — признает, что Декартом были предвосхищены некоторые из его идей.

Грандиозный замысел Декарта — объяснить все существующее из простых механических законов, — не мог не увлечь как современников, так и последующих ученых. «Дайте мне материю и движение, и я построю мир» — этот лозунг стал знаменем картезианского направления в физике. В физике картезианцев нет места дуализму материи и пустоты, движения и покоя. Весь мир — это движущаяся материя. Все взаимо-

действия между телами — это взаимодействия соприкасающихся, соударяющихся частиц. Действия на расстоянии в природе не существует, тяготение и свет — это результаты скрытых движений и давлений. Задача теоретической физики заключается в построении таких моделей, которые, действуя по законам механики, соответствовали бы наблюдаемым фактам. Эта программа картезианской физики определила ту линию теоретической физики, которая представлена трудами Фарадея и Максвелла, Кельвина и Дж. Томсона, Больцмана и Лоренца. Материальное пространство Декарта явилось прообразом теории поля Эйнштейна. Мощь теоретического мышления Декарта сказывается и в таких пунктах его физических воззрений, которые долго считались ошибочными и слабыми. У Декарта инерция не тождественна с количеством вещества, хотя бóльшие частицы обладают меньшей склонностью к изменению движения, т. е. большей инерцией. Эта склонность определяется, кроме того, и формой частицы и ее скоростью. В одном из своих писем Декарт прямо утверждает, что частицы, движущиеся с большой скоростью, обладают меньшей склонностью к изменению движения, чем частицы, движущиеся с малой скоростью. Эти взгляды Декарта, стоявшие в резком противоречии с выработавшимся в XVII веке представлением об инерции как о неизменной массе, были воскрешены в электромагнитной теории массы и в теории относительности Эйнштейна. Этот пример ярко иллюстрирует программное значение воззрений Декарта.

Судьбы развития теоретической физики определились борьбой и взаимодействием двух линий теоретического мышления, ведущих свое происхождение от Бэкона и Декарта. Но Бэкон, не будучи сам естествоиспытателем, еще не мог привести свои идеи в ясную и последовательную схему. Линия индуктивизма разрабатывалась деятелями Лондонского общества, к которым в первую очередь надо отнести Бойля, и затем ньютонианцами. Картезианское направление разрабатывалось во Франции и в других странах европейского континента. Но такое географическое размежевание

обоих направлений на первых шагах их возникновения, разумеется, не выдерживалось строго. Среди ученых европейского континента находилось немало противников Декарта. Мы остановимся здесь только на воззрениях Гассенди, так как они оказали несомненное влияние на взгляды Ньютона.

Гассенди. Гассенди является убежденным сторонником и неутомимым пропагандистом идей философа-атомиста Эпикура. Восстановление в правах древних атомистов шло параллельно с критикой Аристотеля, несмотря на ожесточенное противодействие представителей схоластической науки. Гассенди в своих воззрениях исходит из основной предпосылки атомистов, что в мире ничего иного не существует, кроме атомов и пустоты. Разнообразие тел природы обусловлено разнообразием форм, размеров и сочетаний атомов. Теплоту и холод Гассенди в противоположность Бэкону и Декарту рассматривает как субстанции, состоящие из мельчайших атомов, причем атомы холода имеют игольчатую форму, чем и объясняется покалывание кожи на морозе. Гассенди не разделяет взглядов Декарта на материальное пространство и противопоставляет им взгляд на пространство и время как на пустые вместители материальных процессов. Если бы все вещи в мире исчезли, пространство как пустоеместилище осталось. Если бы все явления и движения прекратились, течение времени продолжалось бы попрежнему. Эти взгляды Гассенди были усвоены и четко сформулированы Ньютоном.

**Сопоставление
старой и новой
науки.**

Таковы основные теоретические концепции новой науки. Сопоставим в заключение старые и новые воззрения и методы.

Для старой науки характерно недоверие к чувству и разуму человека. Истина раз навсегда дана и открыта в божественном откровении, сомневаться в нем преступно. Наука — служанка богословия.

Метод познания истины — изучение и толкование авторитетов. Диспуты — основная форма обучения истине.

Авторитетом в истолковании природы является Аристо-

тель. Его учение о четырех элементах и формах — основа всей натурфилософии. Явления природы определяются четырьмя началами: материей, формой, движением и целью. Разнообразие явлений обусловлено сочетанием скрытых качеств: тепла и холода, сухости и влажности, тяжести и легкости.

Мир ограничен. В центре — неподвижная Земля, построенная из четырех элементов. Элементы взаимно превратимы и переходят друг в друга, теряя одни качества и приобретая другие.

Вне официальной науки широким признанием пользуются астрология, алхимия и магия. Реакция отживающей феодальной идеологии обозначается появлением большого количества трактатов по демономании, магии, астрологии¹⁾.

Для новой науки характерно непоколебимое доверие к чувственному опыту и разуму человека. Перед судом опыта бессильны все авторитеты. Разум человека всемогущ. «Кто возьмет на себя поставить предел человеческому духу?» — восклицает Галилей. «Не каждое изречение писания²⁾ имеет такую строгую норму, как каждое действие природы», — утверждает он же.

Наука должна быть освобождена от вмешательства всяких авторитетов, в том числе и божественных. «Философствование должно быть свободным», — таково требование деятелей новой науки. Метод изучения природы: опыт и рациональная обработка данных опыта. Интерес к опыту захватывает самые широкие круги. Английские аристократы считают своим долгом присутствовать на экспериментах, производимых на заседаниях Королевского общества. Опыты ставятся самые разнообразные, проверяются самые невероятные утверждения. Девизом общества становится: «Не верить на слово». Так мало-помалу вырабатывается экспериментальное искусство и совершенствуется эксперимен-

¹⁾ Для фашистских стран характерно вновь появление на сцену бредовых представлений магии и астрологии.

²⁾ Речь идет о священном писании.

тальный метод. Успехи эксперимента содействуют развитию индуктивного метода в естествознании.

Одновременно прогрессирует математика и в естествознание внедряется математический метод. Совершенствуется вычислительная техника (таблицы логарифмов), развиваются новые математические методы: аналитическая геометрия и анализ бесконечно малых.

На смену представлениям о скрытых качествах идет механистическое мировоззрение, стремящееся свести все явления к механическим движениям тел и частиц. Растет тенденция — свести все качественное разнообразие реальной действительности к количественным различиям в числе и величине частиц. На смену учению о превратимости элементов выдвигается представление о неизменных частицах, не превратимых друг в друга. Растет тенденция расчленения действительности на отдельные взаимно не связанные области.

На смену учению об ограниченной вселенной с центром Землей выдвинулось представление о неограниченном мире, не имеющем центра, одним из уголков которого является солнечная система.

На смену средневековому мракобесию приходит прогрессивное свободомыслие, подвергающее рационалистической критике все предрассудки и предубеждения. Пусть Кеплер добывает кусок хлеба составлением гороскопов, Ньютон производит алхимические опыты, а Декарт считает, что раны убитого раскрываются при приближении убийцы, — прогрессивное материалистическое мировоззрение развивается вширь и вглубь, подготавливая почву для деятельности французских материалистов.

Достижения
естествознания
в XVII веке.

В такой обстановке развивается естествознание в XVII веке. Успехи, сделанные им в эту эпоху, являются исключительными.

Мы рассмотрим в сжатой форме важнейшие результаты доньютоновской физики.

Как уже указывалось выше, первой проблемой новой науки было построение динамики. Без динамики невозможно

было обосновать систему Коперника и разрешить задачи баллистики. Начало динамики было положено Галилеем.

Физика Аристотеля в своем учении о движении исходила из представления о естественном и насильственном движениях. Естественным движением было вертикальное падение тяжелых тел к центру, осуществляемое «началом тяжести». Точно так же частицы огня «началом легкости» двигались естественным движением вертикально вверх. Все прочие движения, в том числе и равномерное прямолинейное движение, являлись насильственными. Они не могли осуществляться без действия внешних сил. Прекращение действия силы влекло за собой и прекращение движения. Аристотель утверждает таким образом начало инерции в следующем виде: тело само по себе не может ни начинать, ни поддерживать движения (за исключением «естественных» вертикальных падений и поднятий).

1. Динамика Галилея.

Галилею предстояло разбить динамическую концепцию Аристотеля и заменить ее новой. Эту работу он выполнил в «Диалогах» и «Беседах». Прежде всего он указывает на ненаучность аристотелевской классификации движений — все движения естественны, ибо происходят в силу естественных законов природы. Не составляет исключения и круговое движение, которое Аристотель считал совершенным и в чистом виде присущим только небесным телам и осуществляемым «пятым началом». Галилей выдвигает другой принцип классификации движений — *по ускорению*. Движения разделяются на равномерные и неравномерные. Этим Галилей сделал первый и значительный шаг в деле построения новой динамики.

Наиболее простым является равномерное прямолинейное движение, которое тело может сохранять без всяких внешних воздействий, само по себе. Правда, у Галилея закон инерции еще не сформулирован в окончательном виде, он не рассматривает тело, предоставленное всецело «самому себе», и формулирует закон инерции так: «Когда тело движется по горизонтальной плоскости, не встречая никакого

сопротивления движению, то... движение его является равномерным и продолжалось бы бесконечно, если бы плоскость продолжалась в пространстве без конца»¹⁾). Но зато Галилей отчетливо представляет способность тел сохранять свою скорость. С предельной ясностью он демонстрирует эту способность и на примере шара на горизонтальной плоскости, получившего толчок, и на примере мяча, выпущенного из рук всадником на скаку, и на примере камня, упавшего с мачты движущегося корабля. Именно этим свойством сохранения скорости и объясняется невозможность обнаружить движение (поступательное) Земли по механическим явлениям, совершающимся на ней. Так, установление свойства инерции приводит Галилея к установлению классического принципа относительности, выраженного им в замечательно наглядной форме. «Заключите себя с каким-нибудь приятелем в возможно просторном помещении под палубою большого корабля и пустите туда мух, бабочек и других подобных маленьких летающих животных. Пусть будет там также большой сосуд с водой и в нем рыбки. Повесьте также на потолок ведро, из которого капля за каплею вытекала бы вода в другой сосуд с узким отверстием, находящийся снизу под ним. Пока не движется корабль, наблюдайте, как эти летающие животные с равною быстротой будут летать во все стороны комнаты. Увидите, что рыбы будут плавать безразлично во все стороны; падающие капли будут попадать все в подставленный сосуд. И вы, бросая приятелю какую-нибудь вещь, не будете принуждены употреблять большую силу для того, чтобы бросить ее в одну сторону, чем в другую, если только расстояния одинаковы. Прыгая, вы будете проходить одинаковые пространства во все стороны, куда бы ни прыгали. Наблюдайте хорошенько за всем этим и заставьте привести в движение корабль с ка-

¹⁾ Галилей, Соч., т. I, стр. 418—419. Несовершенство формулировки Галилея сказывается в том обстоятельстве, что в «Диалогах» он, рассматривая реализацию такого движения, считает такой бесконечной плоскостью равномерно удаленную от центра сферическую поверхность Земли, хотя ему и известны динамические проявления кругового движения.



кою угодно быстротой. Если движение будет равномерно, то вы не заметите ни малейшей перемены во всех указанных действиях и ни по одному из них не в состоянии будете судить, движется ли корабль или стоит на месте. Вы, прыгая, будете проходить по полу то же самое пространство, как и прежде, т. е. вы не сделаете, вследствие того что корабль движется весьма быстро, больших прыжков к корме, чем к носу корабля, хотя в то время, когда вы находитесь в воздухе, пол, находящийся под вами, бежит к части, противоположной вашему прыжку. Бросая вещь товарищу, вам не нужно с большей силой бросать ее, если он будет около носа корабля, вы же около кормы, чем наоборот. Капли будут падать, как прежде, в нижний сосуд, и ни одна не упадет по направлению к корме, несмотря на то, что в то время, как капля находится в воздухе, корабль уходит вперед на несколько локтей. Рыбы в своей воде не с большим трудом будут плавать к одной, чем к другой стороне, сосуда и будут приходить с одинаковой ловкостью к пище, положенной на какое угодно место края сосуда. Наконец, бабочки и мухи будут летать попрежнему во все стороны и не будут держаться более около той стены, которая ближе к корме, как будто устали следовать за быстрым ходом корабля, от которого они, находившись долго в воздухе, как будто разъединены. И если зажжете несколько ладана, то дым пойдет вверх и будет держаться в виде облачка и безразлично двигаться в ту или другую сторону. А причины того, что все эти действия так соответствуют одно другому, заключаются в том, что движение корабля обще всему, находящемуся в нем, — и воздуху»¹⁾).

Однородность и изотропность галилеева пространства по отношению к механическим процессам, сформулированные им в этом отрывке и сохраняющиеся при всех так называемых галилеевых преобразованиях пространства²⁾ и

¹⁾ Г а л и л е й, Диалоги. Цит. по Л ю б и м о в у, История физики, т. III.

²⁾ Галилеевскими преобразованиями пространства-времени называются преобразования вида $x^1 = x - vt$, $y^1 = y$, $z^1 = z$, $t^1 = t$.

времени, не оставляют никакого места для той асимметричности мира, которая постулируется существованием неподвижного центра. Так, открыв свойство инерции, Галилей не только вышел из рамок птоломеево-аристотелевской вселенной, но и пошел дальше Коперника. «Ни вы и никто не доказали, что мир конечен и имеет определенную форму, а не бесконечен и не неограничен», — говорит Сальвиати ¹⁾ в «Диалогах», обращаясь к перипатетику Симплицию.

Ясное представление о свойстве тел сохранять свою скорость приводит Галилея далее к установлению принципа суперпозиции (наложения) движений и независимости действия сил. («Не замечательная ли вещь, — говорит один из участников «Диалогов» — Сагрето, — что в то самое время, которое требуется для вертикального падения на землю с высоты каких-нибудь ста локтей, ядро, силою пороха выброшенное из пушки, пройдет четыреста, тысячу, четыре тысячи, десять тысяч локтей, — так что при всех тщательно направленных выстрелах останется в воздухе одинаковое время»). А это позволяет ему решить трудный вопрос, какое движение следует рассмотреть по порядку вслед за равномерным движением. Решение этого вопроса состоит в правильном установлении меры действия силы. Галилей установил, что такой мерой является *ускорение*. Под действием постоянной силы скорость будет возрастать не пропорционально проходимому телом пути, как он ошибочно полагал вначале, а пропорционально *времени*. Действуя независимо от состояния движения тела, от величины получаемой им скорости, сила продолжает одинаково ускорять движение тела в каждый момент, что и приводит к указанной пропорциональности. Далее Галилей показывает, что путь в таком движении растет пропорционально квадрату времени. Примером такой непрерывно действующей постоянной силы является сила тяжести, поэтому движение свободно падающего тела должно подчиняться найденным законам.

¹⁾ Сальвиати, участник бесед, проводимых в «Диалогах» и «Беседах», является выразителем взглядов Галилея.

Галилей и обращается к наблюдению движений падающих тел для экспериментальной проверки своих утверждений. Но здесь возникает трудность, связанная с большой величиной ускорения, что при отсутствии в то время надежных и точных измерителей времени делало прямую экспериментальную проверку невозможной. Галилей обходит эту трудность заменой свободного падения движением по наклонной плоскости. При этом Галилей устанавливает консервативный характер силы тяжести, что дает ему возможность простым путем открыть закон действия силы на тело на наклонной плоскости. Галилей доказывает, что скорость падающего тела определяется только высотой падения и не зависит от формы пути. Опытом с маятником он доказывает, что скорость, полученная в нижней точке падения маятника, достаточна для поднятия его на ту же высоту по разным путям BC_1 , BC_2 , BC_3 . Так, открывая закон наклонной плоскости, Галилей открывает закон сохранения энергии для силы тяжести.

2. Развитие динамики от Галилея до Ньютона.

Таковы важнейшие результаты динамики Галилея. Основоположный характер их очевиден. Последующим деятелям надлежало развить эти основные идеи и прежде всего уточнить понятия инерции и силы. У Галилея нет *количественной* характеристики инерции, равно как и сама формулировка закона инерции еще не точна. Точно так же у Галилея нет точного понятия силы, понятия о количественной мере действия силы. Правильно связав действие силы с ускорением, Галилей еще не дает самого понятия ускоряющей силы. Вместо этого понятия у него фигурируют импульс или момент, в которые входят и то, что характеризует воздействие, и скорость тела, и обстановка действия (наклон плоскости). Стало быть, эти фундаментальные понятия динамики нуждались в уточнении.

Более глубокую формулировку закона инерции дает Декарт. Несмотря на то, что он исходит из теологических предпосылок, его формулировка полностью устраняет недочеты галилеевской формулировки. Тело в отсутствии внешних воздействий будет либо покоиться, либо двигаться равно-

мерно и прямолинейно ¹⁾ — таков смысл декартова закона инерции, впервые высказанного им в «Началах философии», вышедших в 1644 г. В более раннем трактате «Космогония», издать который Декарт после осуждения Галилея не решился, он дополнительно к закону инерции формулирует правило, согласно которому тело, совершающее круговое движение, по устранении воздействий, вызвавших это движение, будет двигаться равномерно и прямолинейно по касательной к окружности. Изменение движения тела осуществляется воздействием окружающих тел, и возникает вопрос как о мере движения, так и о мере и механизме этого воздействия. В этом втором пункте воззрения Декарта вышли из рамок возможностей современной ему науки. Мы уже упоминали о его взглядах на инерцию. Эти воззрения были слишком сложны и не соответствовали опыту, в котором инерция выявляется как неизменное свойство тела, не зависящее ни от формы, ни от состояния движения тела. Точно так же Декарт не хотел ограничиться математическим описанием взаимодействия тел, которое может быть достигнуто введением категории силы и ее количественной характеристикой, а пытался изучить механизм взаимодействия тел, поставив проблему ударов и тяготения. В качестве меры движения, сохраняющейся при всех взаимодействиях, Декарт ввел произведение объема тела (т. е. его массы) на скорость, то, что мы называем количеством движения. Но уже Галилей обратил внимание, что воздействия покоящегося тела и движущегося тела различны. Так стало складываться представление о «мертвой» и «живой» силе и об измерении действия этих сил. В противовес Декарту Лейбниц предложил в качестве меры движения величину, пропорциональную произведению массы на квадрат скорости, названную им живой силой. Возник знаменитый спор о двух мерах движения, выяснение которого затянулось до половины XVIII века, когда Даламбер показал математическую экви-

¹⁾ По Декарту, тело предоставленное самому себе, стремится сохранить свое состояние, форму, массу, скорость.

валентность обеих мер. В XVII веке этот спор не мог быть разрешен ввиду неясности основного понятия — силы — и недостаточно изученного механизма взаимодействия тел. Проблема удара, разрешить которую пытался еще Галилей, привлекла в связи с этим особое внимание ученых XVII века, начиная с Декарта. Декартом были даны неправильные законы удара, что было связано отчасти с тем обстоятельством, что он не принимал во внимание векторного характера количества движения ¹⁾). Эти ошибки Декарта были замечены современниками, но точной формулировки законов удара не было дано до объявления в 1668 г. Лондонским королевским обществом конкурса на решение задачи удара. На конкурс представили решения математик Валлис, архитектор Рен и знаменитый Гюйгенс. Валлис рассматривал задачу центрального удара неупругих тел и установил сохранение алгебраической суммы количества движения соударяющихся тел. Рен и Гюйгенс решили задачу удара упругих тел. Рен установил сохранение количества движения и для упругого удара, проверяя этот закон опытом с соударяющимися маятниками. Тем самым было установлено равенство взаимодействий тел, т. е. установлен третий закон динамики. Гюйгенс при решении задачи удара исходил из принципа относительности и положения, что упругие соударяющиеся тела равной массы, движущиеся с противоположными скоростями, отскакивают с теми же скоростями в противоположные стороны. Он показал, что при упругом ударе сохраняется сумма произведений масс соударяющихся тел на квадраты их скоростей.

Так в 1668 г. были установлены три закона динамики. Но они не были еще возведены в ранг общих принципов ее, им не была придана еще точная и общая форма. Не было известно, образуют ли эти законы замкнутую систему динамических аксиом, необходимую и достаточную для построения механики. Необходимо было, следовательно, от разрозненных попыток и от исследования частных проблем прийти

• 1) В «Началах философии» Декарт формулирует неверное правило передачи движения телом.

к построению механики в целом, к установлению системы ее основных принципов. Решить эту проблему предстояло Ньютону.

Тяготение. Другой проблемой, связанной с проблемой взаимодействия тел, была проблема тяготения. Кеплер дал кинематику неба. Галилей высказался против концепции перипатетиков о том, что тяжесть является прерогативой Земли. Каждое небесное тело обладает стремлением к воссоединению своих частей, результатом которого является движение этих частей к центрам светил. Изучая действие силы тяжести, Галилей опровергает учение Аристотеля о том, что скорость падения тел пропорциональна весу, и устанавливает важнейший факт *независимости ускорения падающих тел от массы этих тел*.

В своем сочинении «О магните» (новая магнитная философия), вышедшем в 1600 г., Гильберт развивает то же представление о взаимном стремлении воссоединения частей, присущих Земле и всем небесным телам, и приписывает этой силе магнитную природу. Эту идею принимает и Кеплер, который высказывается о природе тяжести следующим образом:

«...Вот истинное учение о тяжести: тяжесть есть взаимная склонность между родственными телами, стремящимися слиться, соединиться воедино; магнитная способность есть свойство того же порядка; скорее Земля притягивает камень, чем камень стремится к Земле. Если бы мы поместили даже центр Земли в центре мира, то не к этому последнему центру притягивались бы тяжелые тела, а к центру круглого тела, которому они родственны, т. е. к центру Земли. В какое место мы ни поместили бы Землю, тяжелые тела вследствие присущей им способности будут всегда двигаться к ней. Если бы Земля не была круглая, то тяжелые тела не двигались бы со всех сторон к центру Земли, а они двигались бы в различные пункты, смотря по месту, которое они занимали бы. Если бы в каком-нибудь месте мира находились два камня на близком расстоянии друг от друга и вне сферы действия какого бы то ни было родственного им тела, то эти камни стремились бы соединиться друг с другом, подобно двум

магнитам, где-нибудь посредине этого расстояния, и пути, которые им пришлось бы пройти, были бы обратно пропорциональны их массам»¹⁾).

Так, от представления перипатетиков, что тяжесть представляется естественным стремлением тел к центру вселенной, наука начинает переходить к мысли об универсальной силе тяготения. На эту мысль наталкивают и магнитные притяжения, и в особенности установленная связь между движением Луны и приливами и отливами. Их пытались поставить в связь с влажностью Луны, с действием лунного света, лунной теплоты и т. д. Но уже выдвигается учение о сходстве действия Луны на воду с магнитным притяжением, с тяжестью, и тот же Кеплер пишет:

«Луна действует не как влажная или овлажняющая звезда, а как масса, родственная массе Земли. Она притягивает воды моря магнитным действием не потому, что эти воды влажны, а потому, что они одарены земной субстанцией, той самой субстанцией, которой они обязаны также своей тяжестью»²⁾).

Эта точка зрения вызвала возражения Галилея. Галилей не мог допустить ни действия на расстоянии, ни гипотезы скрытого качества, какой является гипотеза о свойстве взаимного притяжения. В противовес этой концепции он выдвинул свою теорию приливов и отливов, по которой эти движения вод объясняются сложением двух движений — суточного вращения Земли и ее годового движения. В тех частях, где скорость суточного движения совпадает по направлению со скоростью годового движения, вода отстает от ускоряющейся «барки» — Земли, в противоположной же стороне, наоборот, опережает замедляющуюся Землю. Галилей придавал большое значение своей теории, так как в ней он усматривал опытное доказательство годового и суточного движений Земли. Любопытно, что он не заметил противоречия своей теории с установленным им же принципом отно-

¹⁾ Кеплер, О движении планеты Марс, Opera omnia, т. III, стр. 151. Цит. по Дюгемю, Физическая теория, стр. 277.

²⁾ Там же.

сительности. Как бы то ни было, гипотеза тяготения продолжала укрепляться, и в 1643 г. Роберваль высказывает довольно отчетливо идею о всемирном тяготении.

«Материя, наполняющая пространство между небесными светилами и между частями каждого из них, обладает одним определенным свойством или определенной акциденцией. Силой этого свойства материя эта оказывается соединенной в одном и том же теле, все части этого тела постоянно притягиваются друг к другу, вследствие чего они и оказываются объединенными в одно целое и могут быть отделены друг от друга лишь большей силой».

«Всей системе Земли и элементам земным и каждой части этой системы присуща акциденция, или известное свойство, сходное со свойством, которое мы приписали системе мира, взятой в целом. Силой этого свойства все части этой системы соединяются в одну массу и взаимно друг к другу притягиваются»¹⁾.

Но если Луна тяготеет к Земле, а планеты к Солнцу, то что мешает их взаимному сближению? Кеплер считал, что от вращающегося Солнца исходит некоторая «душа движения», увлекающая планеты. Декарт выдвинул более физическую концепцию вихрей. В 1666 г. Борелли впервые в ясной форме выражает динамику движения планет в сочинении «*Theoria medicorum planetarum ex causis phisis deducta*» («Теория планет Медичи»²⁾), выведенная из физических причин». Он пишет:

«Предположим, что планета стремится к Солнцу и в то же время своим круговым движением удаляется от этого центрального тела, лежащего в середине круга. Если обе эти противоположные силы равны между собой, то они должны уравновеситься — планеты не будут в состоянии ни приблизиться к Солнцу, ни отойти от него дальше известных пределов и в

¹⁾ Aristarchi Samii de Mundi Systemate . . . Addictae sunt AE. P. de Robervale notae in eundem bibellum. Parisi 1644. Цит. по Дюге му. Физическая теория, стр 290—291.

²⁾ То-есть спутников Юпитера. Планетами Медичи их назвал Галилей в честь своего патрона, герцога Тосканского Медичи.

таком равновесии будут продолжать свое обращение около Солнца».

Эта идея динамического равновесия нуждалась еще в дальнейшем уточнении, а именно в уточнении закона действия силы. В том же 1666 г. Гук ставит опыты по наблюдению формы путей конического маятника при различной силе толчков, перпендикулярных плоскости колебаний, т. е. исследовал экспериментально центральное движение. Как раз изучение маятника и дало возможность подойти к решению проблемы центрального движения. Так задача маятника оказалась связанной с двумя ведущими проблемами: механики неба и часов.

Галилей открыл закон изохронности колебаний маятника и установил пропорциональность периода маятника корню квадратному из его длины. Ему приходит в голову мысль воспользоваться изохронностью маятника для регулировки хода часов. Однако его проект часов с маятником остался неосуществленным, и они были построены впервые Гюйгенсом и описаны им в сочинении «Horologium» в 1658 г. В 1673 г. вышло в свет знаменитое сочинение Гюйгенса «Horologium oscillatorium», где он дает решение проблемы физического маятника, начатой Декартом и Робервалем. Гюйгенс указывает, что закон изохронности кругового маятника, найденный Галилеем, не точен. Таутохроной является циклоида. Он дает вывод формулы математического маятника и формулу приведенной длины физического маятника, причем эту последнюю он выводит из закона сохранения живых сил, найденного им. В этом же сочинении он разбирает вопрос о динамике кругового движения и находит выражение для центробежной силы $f = \frac{mv^2}{R}$. Так, это небольшое по объему сочинение оказалось насыщенным глубоким содержанием, имевшим для современников чрезвычайно актуальное значение. Путь к решению проблемы центрального движения был открыт.

Гук, обладавший исключительной способностью схватывать актуальные проблемы эпохи, не замедлил выступить

в 1674 г. со своими соображениями о системе мира. В работе «An attempt to prove the motion of the earth from observations made» by R. Hooke («Опыт доказательства движения Земли из наблюдений») он пишет:

«Изложу систему мира, во многих отношениях отличную от всех известных, но отвечающую во всем общим законам механических движений. Она зависит от трех предположений. Во-первых, что все небесные тела имеют притяжение, или силу тяготения, к своему центру, вследствие чего они не только притягивают собственные части и препятствуют им разлететься, как наблюдаем на Земле, но притягивают также все другие небесные тела, находящиеся в сфере их действия. Потому не только Солнце и Луна имеют влияние на тело и движение Земли, но и Меркурий, и Венера, и Марс, и Юпитер, и Сатурн также своим притяжением имеют значительное влияние на ее движение. Подобным образом и Земля соответственным притяжением влияет на движение каждого из этих тел. Второе предположение то, что все тела, раз приведенные в прямолинейное и простое движение, будут продолжать двигаться по прямой линии, если не будет какой-либо другой действующей силы, отклоняющей их и принуждающей двигаться по кругу, эллипсу или другим более сложным кривым линиям. Третье предположение то, что притяжательные силы тем значительнее обнаруживают себя, чем ближе тело, на которое они действуют, находится от центра действия. В какой степени это увеличение зависит от расстояния? Это я еще не определил опытом. Если исследовать эту идею, как она того заслуживает, то она, несомненно, окажется очень полезной астрономам, дабы привести все небесные движения к определенному правилу: чего, полагаю, иначе достичь нельзя».

Этим идеям Гука недостает математической завершенности. Астроном Галлей предпринял в 1684 г. попытку рассчитать притягательное действие Солнца на планеты. Комбинируя третий закон Кеплера с формулой центробежной силы Гюйгенса, он, как он сам пишет, «открыл существование силы, направленной к Солнцу и обратно пропорциональ-

ной квадрату расстояний». Но трудности математической обработки этой идеи оказались столь велики, что он был не в состоянии справиться с ними и обратился за помощью сначала к Гуку, а затем к Ньютону. У Ньютона он нашел полностью разработанную систему механики неба.

Развитие математических и экспериментальных методов. Параллельно успехам динамики неуклонно развивались и совершенствовались методы новой науки. Уточнение астрономических наблюдений, с одной стороны, и необходимость математической обработки движения — с другой, требовали реформы вычислительной техники и внедрения новых математических идей, идей анализа бесконечно малых. В этом направлении и шло развитие математики в XVII веке, приведшее к созданию такого мощного математического аппарата теоретической физики, каким является дифференциальное и интегральное исчисление.

Упрощение вычислительной техники было целью, поставленной почти одновременно шотландцем Непиром и швейцарским часовщиком Бюрги. Таблицы Непира были опубликованы в 1614 г., Бюрги — в 1620 г. Непир исходил из сопоставления арифметической и геометрической прогрессий и принял за основание число $\frac{1}{e}$, Бюрги — число e .

Идеи Непира сразу были оценены его современниками, и соотечественник Непира Бригге усовершенствовал и упростил таблицы Непира, разработав современные десятичные логарифмы, т. е. логарифмы с основанием 10. Навигация и астрономия получили неоценимое пособие.

Размышления над понятием движения подводили Галилея вплотную к понятиям анализа бесконечно малых. Галилей близко подходил к идее взаимно-однозначного соответствия непрерывных рядов совокупностей, играющей столь важную роль в современном обосновании анализа. Ученик и друг Галилея Кавальери установил принцип, известный под именем принципа Кавальери и утверждающий равновеликость двух тел с равными высотами и основаниями, если площади их сечений, находящихся на равных высотах,

равны. Кеплер в своей «Стереометрии винных бочек» (1615) вычисляет объемы тел вращения методом разбивки их на элементарные объемы и суммированием их. Так возникает интегральное исчисление.

Декарт создал аналитическую геометрию, знаменовавшую переход к аналитическому методу в естествознании, и ставит задачу проведения касательной в данной точке кривой. Современник Декарта Ферма вводит понятие бесконечно малого приращения и оперирует с выражениями, содержащими такие приращения. Учитель Ньютона Барроу, математик Валлис в «Арифметике» оперируют с бесконечными рядами. Так, шаг за шагом подготавливается создание анализа бесконечно малых.

Экспериментальный метод пережил целую революцию. От первичных наблюдений античной и средневековой физики в течение XVII века произошел переход к научному эксперименту, вооруженному необходимой техникой. Характерно, что экспериментальное искусство и математический гений сочетались одновременно у одного и того же исследователя этой эпохи. Крупный математик Галилей был прекрасным экспериментатором. Им были сконструированы гидростатические весы, первый термоскоп, часы, телескоп и проведены замечательные эксперименты по изучению движения тел на наклонной плоскости. Под прямым влиянием Галилея начала работать Флорентийская академия опыта, в трудах которой описаны такие приборы, как спиртовой термометр, гигрометр, ареометр. Академики производили опыты с пустотой (впервые полученной в знаменитом опыте учеников Галилея Торичелли и Вивiani), измерили скорость звука, предпринимали попытки определения скорости света. Они изучали капиллярные явления, открыли постоянство точки плавления льда, повторяли опыты Галилея по изучению падения тел. Плодотворная десятилетняя работа академии была прекращена по требованию папской курии.

Успех экспериментального метода ускорял его развитие. Создаются кружки для совместной экспериментальной работы. Из такого кружка, начавшего работать еще в 1645 г.,

возникло Лондонское королевское общество, получившее утверждение короля в 1660 г. В число основателей общества входили такие выдающиеся ученые, как Бойль и Валлис. Экспериментальной проверке подвергалось все. В 1641 г. Торичелли открыл существование атмосферного давления и получил экспериментально вакуум, опрокинув таким образом утверждение перипатетиков, что «природа не терпит пустоты». Открытие Торичелли вызвало широкий резонанс. Им заинтересовались Декарт и Паскаль. Опыты последнего неопровержимо доказали существование давления воздушного океана, на дне которого мы живем. Барометр Торичелли-Паскаля получил широкое распространение. В Магдебурге знаменитый бургомистр Отто Герике производил опыты с барометром и атмосферным давлением. С целью лучшего изучения свойств вакуума он изобрел воздушный насос. Результаты исследований Герике были описаны им в книге, вышедшей в 1672 г. Раньше этого были опубликованы исследования Бойля с воздушным насосом (1659). К этому же времени относится и появление термометров с вакуумом (флорентийские академики, Герике).

Начало экспериментального исследования электрических и магнитных явлений было положено Гильбертом. Вышедшее в 1600 г. его сочинение «О магните» является крупной вехой в развитии учения об электромагнитных явлениях. От Гильберта ведет свое начало и термин «электричество». Магнитные исследования Гильберта повторяли Галилей и флорентийские академики. Герике сконструировал первую электрическую машину (серный шар, вращающийся на железной оси, электризовался трением руки). Опыты с электрической машиной производились и деятелями Королевского общества, подготавливая почву для успешного развития учения об электричестве в XVIII веке.

Оптика. Особо следует отметить бурное развитие *оптики*. Античная и средневековая оптика дали немного: закон отражения, знание собирательных свойств вогнутых зеркал, камер-обскуру, понятие о преломлении, очки. Точного закона преломления не было известно, и,

несмотря на опыты арабов, доказавших неверность утверждения Птолемея о пропорциональности углов падения и преломления, это утверждение сохраняло свою силу.

Успехи оптики начались с построения оптических приборов. Идея подзорной трубы занимала еще гениального мыслителя средневековья Рожера Бэкона, но только в начале XVII века она была осуществлена в виде голландской подзорной трубы. О том, что почва для построения этого инструмента была уже подготовлена применением очков и изучением свойств линз, свидетельствует, что приоритет открытия трубы оспаривало трое (Липперсгей, Янсен, Мациус), и то, что Галилей, услышав об изобретении трубы, самостоятельно пришел к ее построению.

Голландская труба представляла систему выпуклой (объектив) и вогнутой (окуляр) линз. Кеплер оставил чертеж трубы, представляющей комбинацию двух выпуклых линз (телескоп.) В своих оптических исследованиях Кеплер пришел к открытию явления полного внутреннего отражения и ревизии Птолемеевского закона преломления. Кеплер не нашел точного закона преломления и заменил его приближенным законом ¹⁾. Точный закон преломления был найден голландцем Снеллиусом и опубликован впервые Декартом (возможно, заимствовавшим его у Снеллиуса, во всяком случае он дал ему совершенную форму постоянства отношения синусов). Декарту же принадлежит теория радуги.

Декарт рассматривал свет, как давление, передаваемое мгновенно частицами светящихся тел окружающей среде. Против теории Декарта выступил Ферма, выведший закон преломления из принципа наименьшего времени распространения света. В выводе Ферма показатель преломления принимал значение отношения скоростей света в первой и второй средах, и таким образом скорость света в вакууме должна была быть больше скорости света в среде.

¹⁾ Для углов падения, меньших 3° , угол преломления пропорционален углу падения, для больших углов угол преломления пропорционален секансу угла падения.

Открытие закона преломления дало возможность подойти к математическому расчету действия линз. Уже Кеплер нашел фокусное расстояние сферической стеклянной поверхности равным полутора диаметрам сферы. Кавальери установил положение, что во всех выпуклых или вогнутых чечевицах с кривизнами, обращенными в противоположные стороны, сумма радиусов обеих поверхностей чечевицы относится к радиусу той, которая обращена к параллельно падающим лучам, как удвоенный радиус другой поверхности чечевицы к фокусному расстоянию ¹⁾. Следующий важный шаг был сделан учителем Ньютона Барроу, давшим формулу линзы в отдельности для каждого вида линзы. Общая формула линзы была дана Галилеем в 1693 г.

Сферическая абберация для зеркал была известна еще Рожеру Бэкону. Сферическая абберация зеркал и линз уже в XVII веке поставила задачу, которую впервые начал решать Декарт, о нахождении формы поверхностей линз и зеркал, обладающих точной фокусировкой. Много занимавшийся обработкой оптических поверхностей Чирнгаузен открыл в 1682 г. фокальные линии. Исследованием оптических поверхностей занимается Гюйгенс в последней главе своего трактата «О свете».

Итак, геометрическая оптика получила всестороннее развитие в XVII веке. Были разработаны как практические методы шлифовки и использования оптических стекол, так и установлены принципы расчета оптических систем.

В области физической оптики также были получены фундаментальные результаты. Еще в начале XVII века полностью господствовало учение о цветах Аристотеля, рассматривавшего цвет, как смесь двух качеств белизны и темноты. Доминис (1566—1624), открывший дисперсию света в призме, объяснял это явление тем, что свет, проходя в призме все большую и большую толщину, получает все большую

¹⁾ Из формулы $\frac{1}{F} = (n-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_2} \right)$ легко получить, положив для стекла $n = \frac{3}{2}$; выражение теоремы Кавальери: $\frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{2R_2}{F}$.

примесь темноты. Марци, исследовавший в 1648 г. призматические цвета, считает причиной их сгущение света.

В 1663 г. Бойль описывает цвета мыльных пленок и высказывает мысль, что цвет тела не является качеством самого тела, а обусловлен видоизменениями, претерпеваемыми падающим светом на поверхность освещаемых тел.

В 1665 г. выходит «Микрография» Гука. Описывая в ней опыты с микроскопом, Гук подробно останавливается на цветах тонких пленок. Он принимает существование двух основных цветов: красного и голубого, комбинацией которых обусловлены все остальные цвета. Гук подметил, что цвета пленок зависят от толщины, но точного закона чередования цветов не открыл, равно как и не обнаружил периодических свойств света, хотя и выдвинул волновую теорию световых явлений. В «Микрографии» Гук описывает и дифракционные явления, открытые ранее Гримальди. Итак, в XVII веке были открыты и начаты исследованием такие явления, как дисперсия, интерференция и дифракция света. В 1664 г. Бартолинус открывает двойное преломление исландского шпата, а Гюйгенс в трактате «О свете» (1690) описывает явления поляризации, открытые им при исследовании двойного лучепреломления. Следовательно, все основные явления волновой оптики были открыты в XVII веке.

К этому же времени относится и первое определение скорости света из наблюдений над затмениями спутников Юпитера, произведенное на Парижской обсерватории Олафом Ремером. Сообщение об этом сделал Гюйгенс в том же трактате «О свете».

Обилие и разнообразие оптических фактов, открытых в XVII веке, не могли не повлечь за собой и усиленной теоретической работы по исследованию природы света. Именно в это время сформировались две основные теории света: корпускулярная и волновая, борьба которых заполняет всю историю оптики, придавая ей такой драматический интерес, нашедший свое разрешение в современной синтетической квантовой теории.

Так развилась доньютоновская физика. Все основные чер-

ты классической - физики были намечены в этот период, основные факты были открыты, методы установлены. Предстояло сделать последний и самый важный шаг: обобщить все эти разрозненные результаты в единую систему и тем самым, завершая один из самых блестящих и плодотворных периодов в истории естествознания, заложить прочный фундамент той физики, на базе которой пышным цветом расцвела наука и техника наших дней и которая получила название классической физики. Этот шаг и был сделан Ньютоном.

II. ЖИЗНЬ НЬЮТОНА.

**Историческая
обстановка в эпо-
ху Ньютона.**

Ньютон жил и творил в знаменательную эпоху в истории Англии, в эпоху, когда складывались основы английского государственного строя, когда шла борьба за Англию как мировую державу. Это был период буржуазной революции в Англии, завершившейся тем компромиссом между буржуазией и дворянством, который известен под названием «Славной революции». Это был период, когда Англия, отстояв при Елизавете свою независимость в борьбе с испанской реакцией, навигационными войнами укрепляла свое колониальное могущество и обеспечивала себе положение мировой державы. Ньютон родился в разгар гражданской войны между сторонниками парламента и роялистскими войсками Карла I. Ему было шесть лет, когда эта война закончилась казнью Стюарта. Его детские и отроческие годы протекают при протекторате Кромвеля. В первый год реставрации он поступает в Кембридж, где проходит его научная деятельность. За время его пребывания в Кембридже страна пережила реставрацию и якобитскую реакцию. После изгнания Иакова II и призвания Вильгельма Оранского («Славная революция» 1688 г.) начинается Лондонский период жизни Ньютона. Таким образом, деятельность Ньютона приходится на период напряженной политической жизни в Англии. В стране

сформировались две основные политические партии дворянства и буржуазии: консерваторы — тори и либералы — виги, которые выкристаллизовались из религиозных группировок гражданской войны. В обстановке сложной политической борьбы, при частой смене руководящих политических деятелей, когда религиозные и философские воззрения тесно переплетались с политическими течениями, формировались воззрения Ньютона. Университеты — и в том числе Кембриджский — не только не стояли в стороне от политической борьбы, а, наоборот, принимали в ней активное участие. И Ньютон был вовлечен в эту борьбу, принимая участие и в оппозиции Якову II, и в работе парламента в качестве члена его, и, наконец, активно участвуя в финансовой реформе в качестве директора Монетного двора. Ему приходилось соприкасаться с различными политическими и государственными деятелями того времени, быть свидетелем фавора одних и опалы других. Сложность обстановки приучила его к осторожности, к компромиссам, не противоречащим явно его собственным стремлениям и взглядам. Все эти обстоятельства следует иметь в виду при анализе жизни и деятельности великого ученого.

Детские и юношеские годы Ньютона.

В небольшой деревушке Вульсторп в Линкольншире (графстве Линкольн) в семье мелкого фермера родился будущий ученый.

Среда фермеров и сельских пасторов — вот та социальная среда, в которой протекли детские и отроческие годы Ньютона. Это именно та социальная «средняя прослойка» (имение Ньютона давало около 50 фунтов годового дохода), которая по самому своему положению была вынуждена занимать неустойчивую, колеблющуюся позицию в сложной и бурной политической обстановке эпохи. Она ничего не могла выиграть в борьбе земельной аристократии и торговой буржуазии, но зато могла потерять все. За ее счет и совершилась, в конечном итоге, та сделка между обеими борющимися группами в 1688 г., которая получила название «Славной революции». Так, уже по самому своему происхождению Ньютон был обречен на постоянную необходимость

лавирования в бурном житейском море, чтобы сохранить и обеспечить свое существование.

Слабый и болезненный ребенок родился, когда отца уже не было в живых, 5 января (25 декабря по старому стилю) 1643 г., почти через год после смерти Галилея и почти через сто лет после смерти Коперника. За шесть лет до его рождения вышло «Рассуждение о методе» Декарта и готовились «Начала философии». Бэкон умер за шестнадцать лет до его рождения, а Гюйгенс был тринадцатилетним мальчиком.

Через три года после рождения Исаака мать его вышла замуж вторично за пастора Смита и переехала жить к мужу в Норт-Уитам. Малыш остался на попечении бабушки. Двенадцати лет его определяют в школу в Грантаме, где он живет в семье аптекаря Кларка. Одиноким, предоставленным самому себе, ребенок, склонный к мечтательности, занимается поэзией и живописью, занимается изобретательством: мастерит бумажные змеи, изобретает ветряную мельницу, водяные часы, педальную повозку-самокат. Он избегает шумного общества сверстников-мальчиков, но охотно дружит с живущей вместе с ним девочкой Стори, моложе его двумя или тремя годами. Эта детская дружба, с годами перешедшая в более сильное чувство, сохранилась у Ньютона на всю жизнь. Материальная необеспеченность помешала Ньютону жениться на мисс Стори, и он до конца своей жизни остался холостяком.

Учился Ньютон плохо, а слабое здоровье обрекло его на подчиненное положение в среде школьных товарищей. Это положение невыносимо для одинокого, самолюбивого мальчика, и однажды, когда в драке Ньютон был избит так, что потерял сознание, он принял решение покончить с таким положением и выделиться успехами. Упорство, проявленное им в достижении поставленной цели, принесло свои плоды — Ньютон занял первое место в классе и удержал его до оставления школы. Интерес к технике приводит его к размышлениям над явлениями природы. В 1658 г. он проводит первый физический опыт: пытаюсь определить скорость ветра, измеряет

длину прыжка по ветру и против ветра. В то же время он конструирует солнечные часы.

К тому времени его мать овдовела и вернулась в Вульсторп. Решив заняться делами имения, она взяла себе для помощи Исаака, но Ньютон оказался плохим помощником и предпочитал более заниматься изучением математики, чем сельским хозяйством. «Один из его дядей, найдя его однажды под изгородью с книгой в руках, погруженного в глубокое размышление, взял у него книгу и нашел, что он был занят решением математической задачи. Пораженный таким серьезным и деятельным направлением еще столь молодого человека, он уговорил его мать не противиться долее желанию сына и послать его обратно в Грантам для продолжения занятий» (Био). Ньютон возвращается обратно и готовится к поступлению в Кембридж.

Кембридж. Университеты в то время играли выдающуюся роль в политической жизни. При Якове I Стюарте Оксфордскому и Кембриджскому университетам было предоставлено право посылать депутатов в парламент, им же предоставлялось право назначения на церковные должности. Стюарты покровительствовали университетам, стремясь найти в них поддержку своим абсолютистским стремлениям. В годы гражданской войны университеты, особенно Оксфордский, занимают роялистскую позицию. Но в эти и последующие годы политическая жизнь тесно переплеталась с религиозными воззрениями. «Самым выдающимся фактом этого периода была близкая связь религии с политикой» (Лассаль). Если в начале царствования Якова I для университетов было характерно увлечение кальвинизмом, то чем дальше, тем больше они становились оплотом антикальвинистской реакции.

При происшедшем затем политическом размежевании борющихся групп (партия земельной аристократии — тори, партия торговой буржуазии — виги) Оксфордский университет был оплотом первой партии, Кембриджский — второй. Но политические симпатии университетов менялись с изменением политической обстановки в стране, и в Кембридже

имели место якобитские «папистские» выступления, более приличествующие группировке тори.

Ньютон поступил в Кембридж в 1660 г. в качестве *subsizar'a* (так назывались неимущие студенты, в обязанности которых входило прислуживание членам колледжа), т. е. он попадает с самого начала в тяготившее его унижительное подчиненное положение. Горечь житейского существования смягчается напряженной учебной работой: Ньютон изучает работы Декарта и Валлиса, «Логику» Саундерсона, «Оптику» Кеплера, слушает лекции по оптике Исаака Барроу¹⁾. Напряженная работа мысли дала свои результаты: Ньютон в течение семи лет, с 1660 по 1667, проходит все степени колледжа и подготавливает все свои великие открытия.

В 1665 г. Ньютон — магистр искусств, а в 1669 г. он получает Люкасовскую кафедру математики, которую до того занимал Барроу, уступивший кафедру своему одаренному ученику. В это время Ньютон был уже автором бинорма и метода флюксий, исследовал дисперсию света, сконструировал первый зеркальный телескоп, подошел к открытию закона тяготения. Все эти годы Ньютон провел в Кембридже и только во время чумы 1665 г. покидает Кембридж, уехав в Вульсторп, откуда вернулся только осенью 1666 г. К этому периоду относится известный анекдот о падающем яблоке, наведшем Ньютона на мысль о тяготении.

Педагогическая нагрузка Ньютона состояла из 1 часа лекций в неделю и 4 часов репетиций. Как преподаватель Ньютон не пользовался популярностью, и его лекции по оптике посещались плохо.

Сконструированный им в 1671 г. рефлектор (второй — улучшенный) послужил поводом для представления Ньютона в члены Лондонского королевского общества. Ньютон представил рефлектор 11 января 1672 г. и был избран членом общества. Однако он отказался от членства, ссылаясь на отсутствие денежных средств для уплаты членских взносов.

¹⁾ Барроу — математик и богослов, сын лондонского торговца тканями, родился в 1630 г., умер в 1679 г. Как роялист пользовался особым расположением короля Карла II.

Совет общества счел возможным сделать исключение для Ньютона, ввиду его научных заслуг, и освободил его от этой уплаты.

Обстановка в стране и Кембридже в это время была очень напряженной. В 1679 г. неким священником Отсом был распушен слух о «папистском заговоре», начались повальные обыски и аресты. Атмосфера политической подозрительности породила банду лжесвидетелей и доносчиков. Богословские и философские споры становились небезопасными.

Обстановка дошла до крайней степени напряженности, когда в год смерти Карла II (1685) герцог Монмут поднял восстание, которое вскоре было подавлено. Началась полоса подавления «вигских заговорщиков» и якобитской католической реакции.

Ньютон, тяготившийся своим положением подчиненного и стесненного в житейских обстоятельствах человека, искал поддержки у влиятельных лиц, лавируя между обеими партиями¹⁾. Как ученый он хотел добиться спокойного и независимого положения. Обстоятельства вынуждали его принимать участие в спорах и политических выступлениях. Его теория света и цветов, изложенная в мемуаре 1675 г., вызвала дискуссию с Гуком и другими лицами²⁾.

«Я вижу, — писал он 18 ноября 1676 г. Ольденбургу (секретарю Королевского общества), — что я сам сделал себя рабом философии; но, когда я покончу с делом мистера Линуса, я решительно и навсегда с ней распрощаюсь, за исключением того, что делаю для собственного удовольствия, и того, что оставлю для опубликования после смерти. Я узнал теперь, что либо вообще нельзя сообщать ничего нового, либо приходится тратить все силы на защиту своего открытия».

В конце концов, Ньютон принял решение ничего не публиковать по оптике, пока жил Гук, и сдержал это обещание.

¹⁾ В числе покровителей Ньютона был папист С. Пипуис, президент Королевского общества, и могущественные виги: лорд Монтегю, герцог Монмут, секретарь лидера оппозиции Эшли, философ Локк.

²⁾ В числе его оппонентов были Линус и Гюйгенс.

Его «Оптика» увидела свет уже после смерти Гука. Споры были тягостны для осторожного Ньютона и отвлекали его от напряженной работы над теорией центральных сил и ее применениями к небесной механике. Только уступая настояниям Галлея, он дал согласие на опубликование «Начал», но долго колебался — включать ли в издание третью часть, посвященную системе мира. «Третью книгу я намерен теперь устранить,—писал он в письме 22 мая 1686 г.— Философия — это такая наглая и сутяжная дама, что иметь с ней дело — это все равно, что быть вовлеченным в судебную тяжбу».

«Начала» вышли в свет в 1687 г. В этом же году Ньютону пришлось выступить и на политическом поприще. Сочувственно встретив вступление на престол Якова II Стюарта, университет, в конце концов, был вынужден выступить против католических тенденций короля. Король потребовал от Кембриджа дать степень магистра бенедиктинцу Франсизу, не требуя от последнего полагавшегося по статуту клятвенного отречения от католицизма. Университет отказал, король настаивал. В конце концов, была направлена депутация от Кембриджа в «Церковную комиссию». В числе депутатов был и Ньютон. После этого в 1688 г. Ньютон был избран членом парламента, сохранив это звание до 1695 г.

В 1688 г. Яков II был изгнан и призван **Болезнь Ньютона.** Вильгельм Оранский. Так совершилась «Славная революция». Политические и религиозные страсти еще далеко не утихли; в среде духовенства шла кампания за отказ от присяги новому королю, были слухи о новом папистском заговоре. Снова началась полоса политической подозрительности. Нервная, напряженная политическая обстановка, в которой оказался Ньютон, утомительные споры, колоссальная работа, проделанная им по изданию «Начал», — все это отразилось на нервной системе Ньютона, и он заболел умственным расстройством ¹⁾.

1) З. А. Цейтлин в книге «Наука и гипотеза» ставит в связь временное упомошательство Ньютона с политическим кризисом

Де ля Прим записывает в дневнике 3 февраля 1692 г.: «Сегодня я слышал следующее. Здесь есть некто Ньютон, член коллегии Св. Троицы, которого я часто видел и который весьма знаменит своей ученостью. Это отличный математик, естествоиспытатель, богослов и т. д. и уже несколько лет состоит членом Королевского общества. В числе других ученых книг и трудов прежде всего надо упомянуть его «Математические начала натуральной философии», благодаря которым он особенно прославился и получил множество благожелательных писем, особенно из Шотландии. Вот уже двадцать лет, как он усердно трудится над светом и объяснением цвета тел, для чего им сделано более тысячи опытов и истрачено несколько сот фунтов стерлингов. К этой книге он подготовил добавление, но внезапно все его труды пропали. Все они сполна сгорели на его письменном столе в то время, как он был в капелле, вследствие того, что он, уходя, забыл погасить свечу. Это так поразило его, что все думали, он совсем рехнулся и несколько месяцев он был совсем не в своем уме».

Таким образом, де ля Прим считает причиной душевного расстройства пожар, уничтоживший значительную часть оптических рукописей Ньютона. Приведем еще свидетельство Гюйгенса (22 мая 1694 г.):

«Шотландец д-р Кольм сообщил мне, что знаменитый геометр Ис. Ньютон полтора года тому назад впал в умопомешательство, частью от чрезмерных трудов, частью же вследствие горести, причиненной ему пожаром, истребившим его химическую лабораторию и многие важные рукописи. Г. Кольм прибавляет, что вследствие этого происшествия Ньютон представлялся Кентерберийскому архиепископу, причем в разговорах обнаружилось его умственное расстройство. Тогда друзья взяли его для излечения и, заключив в комнату, заставили принимать волею или неволею лекарства, от которых здоровье его поправилось настолько,

1692—1693 гг., вызвавшим у Ньютона, крайне осторожного и робкого человека, душевное заболевание в форме мании преследования.

что теперь он начинает уже понимать свою книгу «Начала».

Как бы ни объяснять причины болезни Ньютона, несомненно, что окружающая обстановка была неблагоприятной для его работы. Сюда присоединилась еще материальная необеспеченность, вынуждавшая его искать другого выхода. Выход вскоре представился.

Лондонский
период.

Одной из важнейших задач «Славной революции» было оздоровление политической и экономической обстановки в стране.

В этой последней части особенно важно было оздоровить финансы. В стране ходило большое количество неполноценной монеты, выпускаемые монеты обрезались и обращались с уменьшенным весом. Такое положение тяжело отражалось на торговле и кредите. Необходимо было наладить выпуск стандартной доброкачественной монеты и изъять неполноценную. Король назначил на должность лорда канцлера казначейства покровителя Ньютона, лорда Монтегю. Монтегю решил воспользоваться услугами Ньютона в этом важном мероприятии и одновременно обеспечить Ньютону материальное независимое положение, которого последний давно добивался. Ньютону было предложено место смотрителя Монетного двора, дававшее ему 400 — 500 фунтов в год, с сохранением профессуры в Кембридже. Ньютон ревностно взялся за новые обязанности. В 1699 г. он был назначен директором Монетного двора, что давало ему от 12 до 15 тысяч фунтов годового дохода. Теперь профессура уже не могла быть совмещена с новыми обязанностями. Ньютон оставляет кафедру в пользу Витстона и переезжает на постоянное жительство в Лондон. Здесь в 1703 г. он избирается президентом Королевского общества.

Научная деятельность Ньютона в лондонский период его жизни ограничилась изданием в 1704 г. «Оптики» и работой по переизданию «Начал». К последней работе его вынудил начальник колледжа Св.Троицы епископ Бентли, поручивший молодому и талантливому математику Роджеру Котсу заняться редактированием «Начал». Это второе издание

«Начал» отличается усиленным вытравливанием материалистических и картезианских идей из «Начал» и обработкой их в «ньютонианском» духе.

Осторожный и робкий Ньютон во многом уступал настойчивому молодому редактору и его влиятельному покровителю. Этому способствовала и собственная религиозность Ньютона.

К этому времени Ньютон достигает вершины славы и признания. В 1705 г. королева Анна возводит его в рыцарское достоинство, он занимает богатую квартиру, держит шесть человек прислуги, имеет карету для выездов. Живет он попрежнему одиноко, хозяйством заведует его племянница Екатерина Бартон.

На восьмидесятом году Ньютон начал страдать каменной болезнью, от которой умер в понедельник 31 марта 1727 г. между 1 и 2 часами дня восьмидесяти пяти лет от роду. Похороны его состоялись в Лондоне с большой пышностью. По указу короля Георга I его похоронили в Вестминстерском аббатстве. В похоронной процессии приняли участие герцоги Роксбург и Монтроз, три пэра Англии и графы Пемброк, Суссекс и Макклесфильд — все члены Королевского общества. Так, в конце своей жизни Ньютон получил то признание и независимость, которых так не хватало ему в долгой подчиненной и необеспеченной жизни. В трудных условиях житейской борьбы и сложной политической обстановке сложился характер Ньютона, в котором сочетались упорство и робость, постоянство и нерешительность, осторожность и хитрость. В эту жестокую эпоху великому мыслителю было трудно сохранить независимость мышления и убеждений, а громадный авторитет автора «Начал» нередко использовался в антинаучных и реакционных целях.

Но врагам науки не удалось сломить Ньютона до конца, и Ньютон, вопреки всем житейским бурям и невзгодам, выполнил свое великое дело. Невольно напрашивается сопоставление судеб двух величайших деятелей новой науки — Галилея и Ньютона. И тому и другому пришлось творить в сложной обстановке мучительного процесса возникнове-

ния новых общественных отношений, когда научная деятельность принимала неизбежно боевой характер политического выступления. И тот и другой мыслитель видели свою задачу в том, чтобы довести до конца задуманные начинания, подчинив этой великой цели все остальное. Осторожность и расчет, изворотливость и приспособляемость к «сильным мира сего» помогали им в выполнении великой миссии. Но гений Галилея развертывался медленно, великие замыслы его созрели только к концу его жизни. Когда оказалось недостаточно компромисса 1616 г.¹⁾, ценой которого Галилею удалось добиться выхода в свет своих «Диалогов», он пошел на формальное отречение от своих убеждений и на закате жизни выпустил основы новой механики «Discorsi». Замыслы Ньютона созрели в юношеские годы, и к сорока пяти годам он уже был автором «Начал», поэтому его компромиссы не имели характера жертвы науке, как у Галилея. Закат жизни Галилея прошел под неусыпным надзором инквизиции, в атмосфере материальных и моральных лишений. Ньютон умирал при широком общественном признании его научных заслуг. Но и тот и другой умирали в полном сознании значительности совершенного ими подвига, искупившего все моральные жертвы, и каждый мог с полным правом сказать с гордостью на своем смертном одре: «Сделал, что мог, пусть другие сделают лучше».

III. ТРУДЫ НЬЮТОНА И ЕГО ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ.

А. Основные открытия Ньютона.

Научная деятельность Ньютона началась под непосредственным влиянием его учителя Барроу и тех трудов, которые он ревностно изучал в Кембридже. Это были «Геометрия» Декарта, «Оптика» Кеплера, «Арифметика бесконечного» Вал-

¹⁾ В 1616 г. после запрещения конгрегацией сочинения Коперника с Галилея было взято обязательство не выступать в защиту учения Коперника,

лиса. Сам Барроу занимался оптическими задачами и изысканием способов проведения касательных к кривым. Первые шаги Ньютона и характеризуются разработкой оптики и математических задач. Математические исследования Ньютона завершаются открытием метода флюксий (1665—1666).

Метод флюксий. Сущность этого последнего излагается Ньютоном (в введении к трактату «О квадратуре кривых», изданному в 1704 г.) следующим образом:

«Я рассматриваю здесь математические количества не как состоящие из очень малых постоянных частей, а как *производимые непрерывным движением*»¹⁾. Линии описываются и по мере описания образуются не приложением частей, а непрерывным движением точек, поверхности — движением линий, объемы — движением поверхностей, углы — вращением сторон, времена — непрерывным течением и т. д.

Такое происхождение имеет место и на самом деле в природе вещей и наблюдается ежедневно при движении тел. Подобным образом древние объясняли происхождение прямоугольников, ведя подвижные прямые линии по неподвижным.

Замечая, что нарастающие количества, образующиеся по мере нарастания в равные времена, сообразно большей или меньшей скорости их нарастания, оказываются большими или меньшими, я изыскивал способы определения самих количеств по той скорости движения или нарастания, с которою они образуются²⁾.

¹⁾ Курсив всюду мой — Л. К. Непрерывно текущая переменная величина и есть флюента Ньютона. Ньютон отчетливо устанавливает связь своего математического метода с излучением движения.

²⁾ То-есть нахождения функций по их производным. Это и есть центральная идея метода флюксий, которую Ньютон в письме к Лейбницу дал в зашифрованном виде: $6a, 2c, d, 12e, 2f, 6i, 3l, 9n, 7o, 4q, 2r; 4s, 9t, 7u, 4v, x$.

Ньютон в первых двух изданиях «Начал» сообщает об этом обмене письмами с Лейбницем: «В письмах, которыми около десяти лет тому назад я обменивался с весьма искусным математиком Г. Г. Лейбницем, я ему сообщал, что я обладаю методом для определения максимумов и минимумов, проведения касательных и решения тому подобных вопросов, одинаково приложимого как для членов рациональных, так и

Назвав скорости этих движений или нарастаний *флюксиями*, образуемые же количества *флюентами*, я постепенно пришел около 1665 и 1666 г. к методу флюксий, который я прилагаю здесь к квадратуре кривых.

Флюксии приблизительно пропорциональны приращениям флюент, образующимся в равные весьма малые промежутки

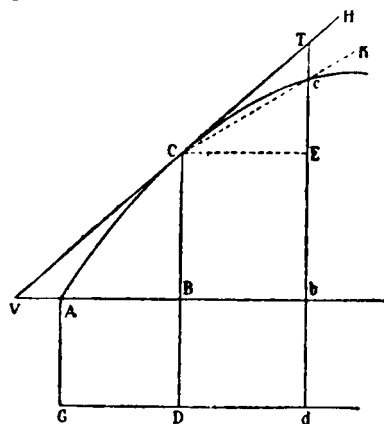


Рис. 1.

времени, или, точнее говоря, находятся в предельном отношении зарождающихся приращений и могут быть представлены какими угодно линиями, этим приращениям пропорциональными. Так, если площади ABC , $ABDG$ (рис. 1) описываются ординатами BC и BD , движущимися равномерно по основанию AB , то флюксии этих площадей относятся друг к другу, как описывающие ординаты BC и BD , и могут быть представлены этими ординатами, ибо зарождающиеся

приращения площадей пропорциональны этим ординатам. Пусть ордината BC из своего положения BC перешла в какое-нибудь положение bc . Дополнив параллелограм $BCEb$, проводим прямую VTH , касающуюся кривой в точке C и пересекающую продолжение BA и Bc в V и T , тогда приращения абсциссы AB , ординаты BC и длины дуги кривой ACc ,

для иррациональных, причем я ее сообщил, переставив буквы следующего предложения: *data, aequatione quotcumque fluentes quantitates involvento fluxiones inventro et nice verso* (когда задано уравнение, содержащее любое число переменных количеств, найти флюксии и наоборот). Знаменитейший муж отвечал мне, что он также напал на такую методу, и сообщил мне свою методу, которая оказалась едва отличающейся от моей, и то только терминами и начертанием формул». Отсюда видно, насколько была подготовлена почва для создания новых математических методов.

при этом образовавшиеся, суть *Vв.*, *Ес*, *Сс*; стороны треугольника *ЕСТ* находятся в предельном (первом) отношении этих зарождающихся приращений, следовательно, флюксии самих *АВ*, *ВС* и *АС* пропорциональны сторонам *СЕ*, *ЕТ* и *ТС* треугольника *СЕТ*, которыми они и могут быть представлены, или, что то же самое, — сторонами треугольника *ВВС*, ему подобного.

То же самое получится, если принять флюксии в предельном (последнем) отношении исчезающих частей. Проведем прямую *Сс* и продолжим ее до *К*; когда ордината *сс* будет возвращаться к своему первоначальному положению *ВС* и когда точки *с* и *С* сольются, то прямая *СК* совпадет с касательной *СН*, и исчезающий треугольник *СЕС* в предельном (последнем) своем виде станет подобным треугольнику *СЕТ*, и его исчезающие стороны будут в пределе относиться друг к другу, как стороны *СЕ*, *ЕТ*, *ТС* треугольника *СЕТ*, следовательно, в том же отношении находятся и флюксии линий *АВ*, *ВС* и *АС*. Если же точки *С* и *с* находятся в каком-нибудь малом удалении друг от друга, то и прямая *СН* будет находиться в некотором небольшом удалении от касательной. Чтобы прямая *СК* совпадала с касательной *СК* и чтобы получились предельные (последние) отношения линий *СЕ*, *Ес* и *сС*, точки *С* и *с* должны сойтись и совпасть вполне. В математических вопросах нельзя пренебрегать даже самыми малыми погрешностями.

На основании подобного же рассуждения, если равномерно продвигать круг, описанный из точки *В*, как центра, радиусом *ВС* так, чтобы он оставался перпендикулярным к *АВ*, то флюксия образуемого объема *АВС* будет пропорциональна площади производящего круга и флюксия образуемой поверхности пропорциональна окружности производящего круга и флюксии длины дуги кривой *АС* (т. е. их произведению). Ибо в то время как объем образуется, ведя круг по абсциссе *АВ*, сказанная поверхность образуется, ведя окружность этого круга по длине кривой *АС*.

Вот еще два (три? — *П. К.*) примера этого способа.

1. Прямая *РВ* вращается около заданного полюса *Р* и пере-

секает другую заданную по положению прямую AB ; требуется найти отношение флюксий прямых AB и PB .

Пусть прямая PB (рис. 2) перешла из своего положения PB в новое положение Pe . Отложив по Pe длину, равную PB , проводим к AB прямую PD под таким углом $\angle PDB$, который равен углу $\angle PBC$. По подобию треугольников $\triangle PBC$

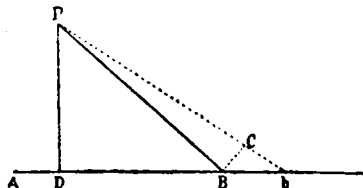


Рис. 2.

и $\triangle PDB$ приращение Bb так относится к приращению Cc , как Pb к PD . Когда прямая Pe будет возвращена в свое первоначальное положение, чтобы приращения исчезли, то предельное (последнее) отношение приращений, или, что то же, предельное отношение Pb к Db обратится в

отношение PB к DB , причем угол PDB станет прямым, следовательно, и флюксия AB будет относиться к флюксии PB , как PB к DB .

11. Прямая PB , вращающаяся около заданного полюса P , пересекает две другие прямые AB и AE , заданные по положению в точках B и E ; требуется найти отношение флюксий этих прямых.

Когда вращающаяся прямая PB (рис. 3) переместится из своего положения PB в положение Pe , пересекающее заданные прямые AB и AE в точках b и e , то, проведя прямую Pc , параллельную AE и пересекающую Pb в c , получим:

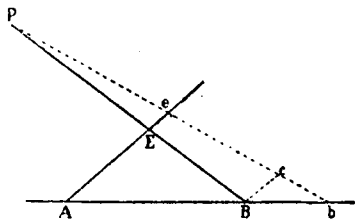


Рис. 3.

$$Bb : Bc = Ab : Ae$$

$$Bc : Ee = PB : PE$$

Из этих пропорций следует:

$$Bv : Ee = Av \cdot PB : Ae \cdot PE$$

Когда прямая Pv возвратится в первоначальное свое положение PB , то исчезающее приращение Bv так будет относиться к исчезающему приращению Ee , как $Av \cdot PB$ относится к $Ae \cdot PE$, следовательно, в этом же отношении будет находиться и флюксия прямой AB к флюксии прямой AE .

Поэтому, если вращающаяся прямая PB пересекает какие-либо заданные по положению кривые в точках B и E и ставшие теперь подвижными прямые AB и AE касаются этих кривых в точках пересечения B и E , то флюксия длины дуги кривой, касающейся прямой AB , будет так относиться к флюксии длины дуги кривой, касающейся прямой AE , как $Av \cdot PB$ относится к $Ae \cdot PE$. То же самое получится даже и в том случае, когда прямая PB будет постоянно касаться до какой-либо заданной по положению кривой в подвижной точке P .

III. *Количество x течет равномерно, надо найти флюксию количества x^n .*

В то время как количество x при своем течении обратится в $x + h$, количество x^n обратится в $(x + h)^n$, т. е. по нашему способу разложения в бесконечные ряды обратится в

$$x^n + nhx^{n-1} + \frac{n^2 - n}{2} h^2 x^{n-2} + \dots,$$

приращения h и $nhx^{n-1} + \frac{n^2 - n}{2} h^2 x^{n-2} + \dots$

относятся друг к другу, как 1 к $nx^{n-1} + \frac{n^2 - n}{2} hx^{n-2} + \dots$

Когда эти приращения исчезнут, то их предельное отношение будет равно отношению 1 к nx^{n-1} , поэтому флюксия x^n так относится к флюксии x^n , как 1 к nx^{n-1} .

Рассуждая подобным же образом и пользуясь способом предельных первых и последних отношений, можно составить флюксии прямых или кривых линий в любых случаях, а также и флюксии поверхностей, углов и других количеств. Вместе с тем такое установление этого анализа над количествами конечными и исследование предельных первых и последних отношений, зарождающихся или исчезающих конечных величин, согласно с геометрией древних, и я хотел показать, что в методе флюксий нет надобности вводить в геометрию бесконечно малые фигуры.

Анализ может вестись над какими угодно фигурами, конечными или бесконечно малыми, которые предполагаются подобными исчезающим фигурам, а также и над фигурами, которые в способе неделимых принимаются за бесконечно малые; надо лишь поступать с должною осмотрительностью.

Нахождение флюент по их флюксиям — задача более трудная, и первая ступень в ее решении равносильна квадратуре кривых, о которой мною уже давно написано следующее сочинение».

Из приведенного отрывка видно, насколько владели Ньютоном образы непрерывного движения при создании им математического анализа. Равномерно текущая независимая переменная у него, как правило, время. Флюенты — это переменные величины (например путь), меняющиеся в зависимости от времени. Флюксии — скорости изменения этих величин.

Техника интегрирования у Ньютона основана на разрывании выражений в бесконечные ряды по аналогии таких разложений с разложением обыкновенных дробей в десятичные. Последнее стало известным в XVII веке, и сам Ньютон называет его «недавно открытым». Поэтому у Ньютона исходной формулой интегрирования и является формула интегрирования степени. Он обобщает эту формулу на случай дробного рационального показателя.

В своем методе флюксий Ньютон создал математический аппарат новой физики. Однако в своем основном труде «Математические начала натуральной философии» он избегает

аналитического метода и прибегает к геометрическим доказательствам, широко используя метод пределов. Вся первая книга «Начал» и посвящена изложению этого метода. Ньютон опирается на лемму, утверждающую равенство пределов двух переменных величин, разность между которыми становится в процессе изменения бесконечно малой. Отсюда он заключает, что пределы сумм площадей вписанных в криволинейную фигуру $AacE$ (рис. 4) прямоугольников и описанных около той же фигуры прямоугольников совпадают и равны площади этой фигуры. Точно так же из равенства пределов отношений площадей вписанных в две фигуры прямоугольников вытекает, что сами площади этих фигур находятся в том же предельном отношении. Отсюда вытекает пропорциональность сторон любых подобных фигур и пропорциональность площадей этих фигур квадратам сторон.

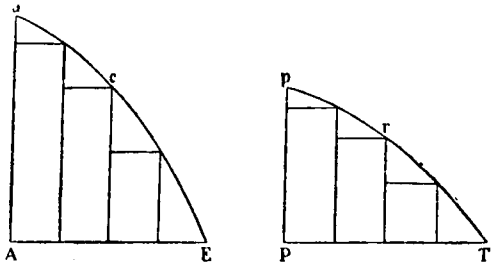


Рис. 4.

Далее Ньютон показывает, что предельное отношение дуги, хорды и касательной к кривой с непрерывно меняющейся кривизной равно единице. Единице равно и предельное отношение площадей треугольников RAB , $RACB$, RAD

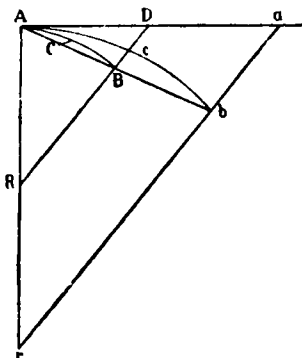


Рис. 5.

(рис. 5). Наконец, Ньютон доказывает чрезвычайно существенную для механических приложений лемму IX.

ЛЕММА IX.

«Если заданные по положению прямая AE и кривая ABC пересекаются под данным углом A и от прямой AE проводятся внутри того угла ординаты BD, CE , пересекающие кривую в точках B и C , и точки B и C совместно приближаются к A , то я утверждаю, что площади треугольников ABD и ACE

будут в пределе относиться друг к другу, как квадраты сторон» (рис. 6).

Опираясь на эту лемму о девиации, Ньютон доказывает, что пути, проходимые телом под действием силы за бесконечно малые промежутки времени, пропорциональны квадратам времен. Следовательно, и девиации (отклонения), вызванные действием сил за малые промежутки времени, пропорциональны квадратам времен. Последняя лемма, лемма XI, этого раздела «Начал», утверждает:

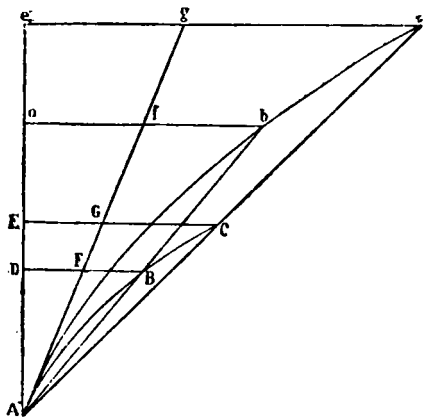


Рис. 6.

ЛЕММА XI.

«Расстояние от конца дуги до касательной, проведенной в ее начале, при бесконечном уменьшении дуги для всех кривых, коих кривизна в точке касания конечная, пропорционально в пределе квадрату ее хорды».

$$\frac{AB^2}{Ab^2} = \frac{BD}{bd} \quad (\text{рис. 7}).$$

Излагая эти теоремы о пределах, Ньютон стремится избежать громоздкости геометрических доказательств от противного и грубости столь употребительного у его предшествен-

ников метода неделимых. Он говорит в «Поучении» к первой книге «Начал» следующее:

«Способом пределов достигается то же, что и способом неделимых, и, после того как его основания доказаны, мы можем им пользоваться с еще большею уверенностью.

Поэтому, если во всем последующем изложении я и рассматриваю какие-либо величины как бы состоящими из постоянных частиц или если я принимаю за прямые линии весьма малые части кривых, то следует разуметь, что это не неделимые, а исчезающие делимые селичины, что это не суммы и не отношения определенных конечных частей, а пределы сумм и пределы отношений исчезающих величин, и сущность этих доказательств в том и состоит, чтобы всё приводить к предыдущим леммам».

Введение в математику переменных величин посредством операций с их пределами считалось несовместимым с требованиями строгого геометрического доказательства. Ньютон стремится обосновать законность метода пределов апелляцией к механическому опыту:

«Делают возражение, что для исчезающих количеств не существует» предельного отношения, ибо то отношение, которое они имеют ранее исчезания, не есть предельное, после же исчезания нет никакого отношения. Но при таком и столь же натянутом рассуждении окажется, что у тела, достигающего какого-либо места, где движение прекращается, не может быть «предельной» скорости, ибо та скорость, которую тело имело ранее, нежели оно достигло этого места, не есть «предельная», когда же достигло, то нет скорости. Ответ простой: под «предельной» скоростью надо разуметь ту,

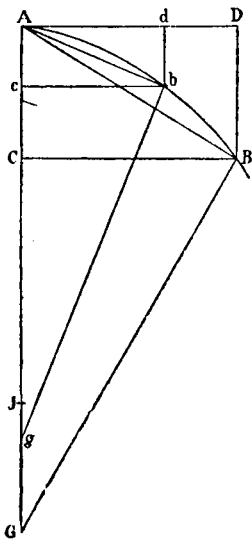


Рис. 7.

с которой тело движется не перед тем как достигнуть крайнего места, где движение прекращается, и не после того, а когда достигает, т. е. именно ту скорость, обладая которой тело достигает крайнего места, где движение прекращается. Подобно этому под предельным отношением исчезающих количеств должно быть разумеемо отношение количеств не перед тем, как они исчезают, и не после того, но при котором исчезают. Точно так же и предельное отношение зарождающихся количеств есть именно то, с которым они зарождаются. Предельная сумма зарождающихся или исчезающих количеств есть та составленная из них сумма, когда они, увеличиваясь или уменьшаясь, только начинают или прекращают быть. Существует такой предел, которого скорость в конце движения может достигнуть, но не может превзойти, это и есть предельная скорость. Такова же причина существования предела отношения зарождающихся или исчезающих количеств. Когда такой предел существует и величина его вполне определенная, то его нахождение есть задача истинно геометрическая. Все же геометрическое может быть законным образом применяемо при геометрических изысканиях и доказательствах»¹⁾).

Механическая практика властно требовала внедрения новых математических методов, не считаясь с трудностями их логического обоснования. Компромиссный метод предельных отношений Ньютона оказался трудным и громоздким, и последующие механики стремились все более и более прибегать к анализу, пока Лагранж не заявил с гордостью, что в его «Аналитической механике» нет ни одного чертежа. Так эволюционировал за сто лет математический аппарат механики. Задача же логического обоснования анализа была отодвинута до Дедекинда и Кантора.

Оптические исследования Ньютона. Оптические изыскания Ньютона начались с поисков способов устранения недостатков оптических приборов и в скором времени привели его к знаменитым исследованиям дисперсии света.

¹⁾ Ньютон, Математические начала натуральной философии, книга 1, отд. 1. Соч. А. Н. Крылова, т. VII, стр. 56—72.

«В начале 1666 года... я достал треугольную стеклянную призму, чтобы с нею произвести опыты над знаменитым явлением цветов», — говорит Ньютон в мемуаре «Новая теория света и цветов»¹⁾. Обнаружив, что изображение отверстия в ставне по выходе из призмы становится удлиненным и окрашенным (спектром), Ньютон обратил особое внимание на то, что длина спектра оказалась примерно в 5 раз больше его ширины. «Диспропорция была так необычайна, что возбуждала во мне более чем простое любопытство узнать, отчего это происходит. Едва ли можно было думать, что различная толщина стекла или граница с тенью или темнотою производят на свет такое влияние»²⁾. Ньютон, справедливо сомневаясь в правильности воззрений Аристотеля и Доминиса, предпринимает целую серию опытов, в результате которых приходит к выводу, что солнечный свет представляет смесь различных лучей, отличающихся друг от друга по преломляющей способности. Эта разница в преломляющей

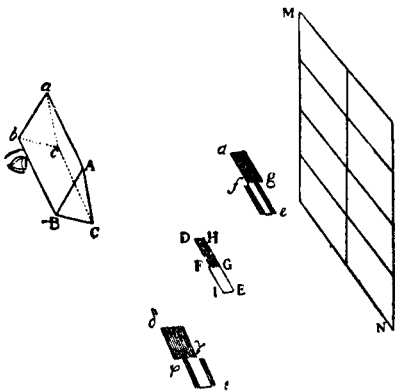


Рис. 8 (Оптика, фиг. 11).

«Пояснение: MN — окно, DE — бумага, разделенная поперечной линией FG на две половины: интенсивно синюю GD и другую, интенсивно красную FE . $BACcab$ — призма, преломляющие плоскости которой $ABba$ и $ACca$ встречаются по ребру преломляющего угла Aa . Это ребро Aa , поднятое кверху, параллельно одновременно горизонту и параллельным сторонам бумаги DI и HE ; поперечная линия FG перпендикулярна к плоскости окна. Далее, de представляет изображение, видимое при преломлении кверху таким образом, что синяя половина DG поднимается выше в положение dg , красная половина EF находится в ef ; синяя часть претерпевает, следовательно, большее преломление. Если ребро преломляющего угла повернуто вниз, то изображение бумаги преломлением опускается, положим, в δe , синяя половина преломляется при этом в δg , ниже чем красная половина, находящаяся в положении φe » (Ньютон, Оптика).

¹⁾ «Успехи физических наук», т. VII, 1927, стр. 123—163.

²⁾ Там же.

способности связана с различной цветностью лучей. Так, рассматривая бумагу, одна половина которой окрашена в красный, а другая в синий цвет, через призму, он нашел, что обе половины бумаги кажутся разделенными, одна более приподнята, чем другая. Красный цвет оказывается менее преломляемым, чем синий (рис. 8). Точно так же, если обмотать обе окрашенные половины черной ниткой то, получая

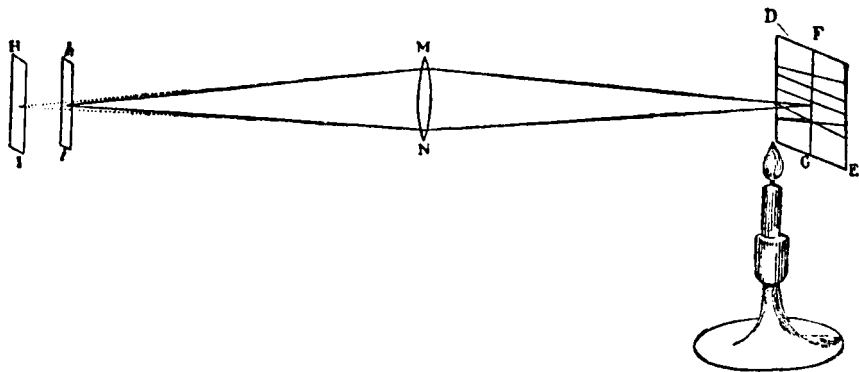


Рис. 9. (Оптика, фиг. 12).

«Пояснение. На фигуре 12 *DE* изображает окрашенную бумагу, *DG* — синюю половину, *FE* — красную половину, *MN* — линзу, *HI* — белую бумагу в том месте, где красная половина с ее черными линиями кажется отчетливой, *hi* — ту же бумагу в том месте, где отчетливой кажется синяя половина. Положение *hi* было ближе к линзе *MN*, чем положение *HI*, на полтора дюйма (Ньютон, Оптика).

с помощью линзы изображения этих ниток, можно видеть, что места отчетливых изображений красной и синей половины не совпадают (рис. 9).

Открыв зависимость показателя преломления от цветности, Ньютон объяснил тем самым и дисперсию света в призме. Он демонстрирует дисперсию света и на основном опыте получения призматического спектра (опыт 3 «Оптики») и на замечательном опыте со скрещенными призмами (рис. 10, опыт 5 «Оптики») ¹⁾. Он производит «experimentum crucis» (опыт 6

¹⁾ Метод скрещенных призм Ньютона получил большое значение для исследования аномальной дисперсии (Кундт и особенно Вуд).

«Оптики») с целью проверки гипотезы, что дисперсия обусловлена различной преломляемостью лучей.

В результате своих исследований Ньютон приходит к фундаментальному выводу: «Таким образом была открыта истинная причина длины изображения, которая заключается в том, что свет состоит из лучей различной преломляемости».

Ньютон ставит далее задачу выделения монохроматического пучка с целью исследования его свойств, осуществляя первый монохроматор. Он устанавливает, что разрешающая

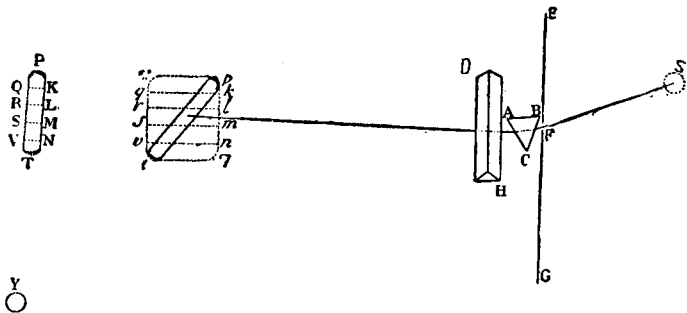


Рис. 10 (Оптика, фиг. 14).

«Пояснение. Пусть S (фиг. 14) представляет солнце, F — отверстие в окне, ABC — первую призму, DHE — вторую призму, Y — круглое изображение солнца, образуемое непосредственно пучком света, когда призмы убраны, PT — удлиненное изображение солнца, образуемое тем же пучком при прохождении только через первую призму, когда вторая призма убрана, pt — изображение, получаемое при перекрестных преломлениях обеих призм вместе» (Н ь ю т о н, Оптика).

поверхность спектроסקопа повышается как от увеличения преломляющего угла призмы, так и от уменьшения размеров источника света (щель). Комментируя в своем переводе «Оптики» описание спектральной установки Ньютона, акад. Вавилов указывает, что в этой установке осуществлены принципы коллиматорного устройства, применяемого до сих пор в спектроסקопии, и выражает недоумение, каким образом столь тонкий наблюдатель, как Ньютон, при описываемых экспериментальных средствах не открыл Фраунгоферовых линий. Эти линии впервые были открыты Волластоном в

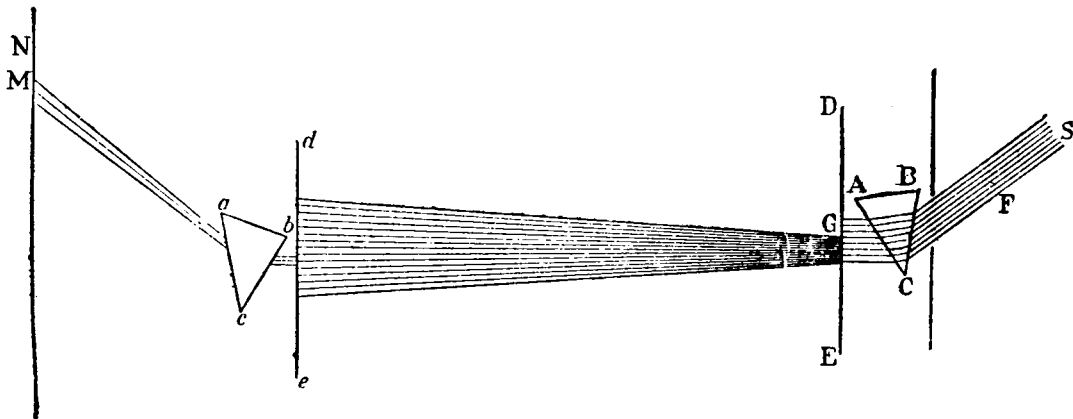


Рис. 11. (Оптика, фиг. 18).

«Пояснение. Пусть F (фиг. 18) — широкое отверстие в ставне окна, через которое солнце освещает первую призму ABC , и пусть преломленный свет падает на середину доски DE , средняя же часть света — на отверстие G , сделанное в середине этой доски. Пусть эта пропущенная часть света снова падает на середину второй доски de и образует здесь такое же удлиненное изображение солнца, как было описано в третьем опыте. Вращая призму ABC медленно в ту и другую сторону вокруг ее оси, можно передвигать это изображение вверх и вниз по доске de ; таким способом все его части от одного конца до другого можно заставить последовательно проходить через отверстие g , сделанное в середине этой доски. В то же время другая призма abc помещается вблизи за отверстием g для второго преломления пропущенного света. Установив таким образом предметы, я отмечал места M и N на противоположной стене, на которые падает преломленный свет, и нашел, что если обе доски и вторая призма остались неподвижными, то эти места постоянно изменялись при вращении первой призмы вокруг ее оси. Когда через отверстие g пропускалась нижняя часть света, падающего на вторую доску de , то свет приходил к нижнему положению M на стене; когда пропускалась верхняя часть света через то же отверстие g , то она доходила до более высокого места N на стене; при пропускании промежуточной части света через отверстие свет падал в некоторое место на стене между M и N . При неизменном положении отверстий в досках падение лучей на вторую призму оставалось тем же самым во всех случаях. И, однако, при таком одинаковом падении одни лучи преломлялись больше, другие меньше. Больше преломлялись во второй призме те лучи, которые больше всего отклонялись от своего пути при большем преломлении и в первой призме, и в силу этого постоянства большей преломляемости они по праву могут быть названы более преломляемыми» (Н ь ю т о н, Оптика).

1802 г., который, описывая свое открытие, замечает: «Впрочем, бесполезно подробнее описывать явления, меняющиеся в зависимости от яркости света, и объяснение которых я не могу принять на себя». «Может быть, такие же соображения заставили и Ньютона умолчать о черных линиях солнечного спектра», — высказывает предположение акад. Вавилов¹.

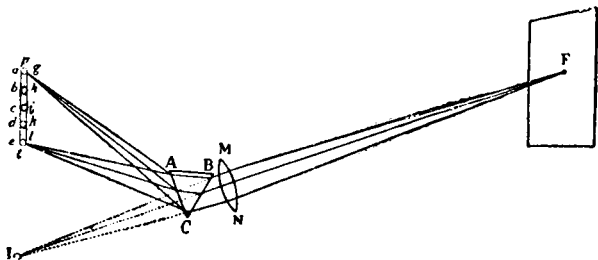


Рис. 12. (Оптика, фиг. 24).

«Пояснение. На фигуре 24 F представляет круглое отверстие в оконной ставне, MN — линзу, отбрасывающую отчетливое изображение отверстия на бумагу в I , ABC — призму, посредством которой лучи, выходящие из линзы, преломляются из I к другой бумаге в pi , и круглое изображение в I превращается в удлиненное изображение pi , падающее на другую бумагу. Это изображение pi состоит из кругов, расположенных один за другим в прямолинейном порядке ... ; эти круги равны кругу I и, следовательно, соответствуют по величине отверстию F ; уменьшая отверстие, можно, следовательно, по желанию уменьшить эти круги, оставляя их центры на прежних местах. Таким способом я получал ширину изображения в сорок, а иногда в шестьдесят и семьдесят раз меньшую, чем длину. (Ньютон, Оптика).

Важнейшим результатом оптических исследований Ньютона является установление им *принципов и методов спектроскопии*, этого столь мощного отдела современной физики. Когда современный физик в учебной, заводской или научной лаборатории производит установку призматического спектроскопа, он повторяет те же манипуляции, которые впервые были проделаны Ньютоном. Он будет так же устанавливать призму на угол наименьшего отклонения, регулировать и фокусировать щель коллиматора, как это делал Ньютон. Забегая вперед, мы скажем, здесь, что Ньютоном была

¹ Ньютон, Оптика, пер. С. И. Вавилова, ГИЗ, 1927.

осуществлена и первая дифракционная спектральная установка и были предприняты первые промеры длин волн интерференционным методом.

Получив монохроматический пучок, Ньютон тщательно исследует его свойства. Он находит, что его показатель преломления для данной поверхности падения остается неизменным и, следовательно, преломление монохроматического пучка происходит без дисперсии. Точно так же остается неизменной и отражательная способность пучка. Цветность пучка при отражениях и преломлениях не меняется. Проверая теории Аристотеля и Доминиса, Ньютон помещает на границе с тенью различные цвета спектра и приходит к выводу: «Все цвета относятся безучастно к любым границам тени, и поэтому различие цветов одного от другого не происходит от различных границ тени, вследствие чего свет видоизменялся бы различным образом, как думали до сих пор философы». Цветность луча, по Ньютону, является его изначальным, неизменным свойством, и Ньютон, основываясь на многочисленных опытах, высказывает следующее утверждение, имеющее весьма важное значение для установления взглядов Ньютона на природу света.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ II. ТЕОРЕМА II.

«Всякий однородный свет имеет собственную окраску, отвечающую степени его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях».

Современная физика внесла поправку в этот постулат Ньютона. Длина волны света меняется при отражении от движущихся зеркал, меняется при рассеянии рентгеновских лучей (эффект Комптона), при комбинационном рассеянии (эффект Рамана-Ландсберга-Мандельштама). Если исключить эти тонкие эффекты, то постулат Ньютона оправдывается с большой точностью. Ньютон в мемуаре «Одна гипотеза, объясняющая свойства света» так формулирует этот

важный постулат: «Вид цвета и степень преломляемости, свойственные каждому отдельному сорту лучей, не изменяются ни преломлением, ни отражением, ни какой-либо иной причиной, которую я мог наблюдать. Если какой-нибудь сорт лучей был хорошо отделен от лучей другого рода, то после этого он упорно удерживал свою окраску, несмотря на мои крайние старания изменить ее».

Но в таком случае и Ньютон и его оппонент Гук хорошо понимали логическую необходимость этого вывода — свет есть нечто, обладающее тем неизменным качеством, каким является его цветность, определяющая его преломляемость. «...поскольку цвета — качества света, имеющие лучи своим полным и непосредственным субъектом, то можно ли думать и о лучах, как о качествах, если только качество не может быть субъектом и поддержкой другого качества, что значило бы назвать его в действительности субстанцией. Мы признаем тела субстанцией только по их ощущаемым качествам, и, буде главные качества чего-то найдены, у нас достаточно оснований полагать это нечто также субстанцией».

Но Ньютон избегает категорического вывода, и когда Гук на основании приведенной выше цитаты приписывает ему утверждение телесности цвета, то он протестует, говоря, что такое утверждение представляет «самое большее... очень вероятное следствие доктрины, но не основное предложение». Он стремится перевести спор на почву достоверно установленных фактов, избегая гипотез. Это оказывается невозможным, и Ньютон принимает решение не публиковать своих оптических работ при жизни Гука. Несомненно, что Ньютону была ясна сложность свойств света, которые было затруднительно объяснить с помощью как одной волновой гипотезы, так и корпускулярной гипотезы. Однако он все более и более склонялся на сторону последней. Может быть, этим предпочтением корпускулярной гипотезы можно объяснить существенные ошибки и пробелы Ньютоновой оптики. Так, Ньютон, считая преломляемость изначальным качеством светового луча, игнорировал роль вещества и считал

дисперсию лучей одинаковой для всех веществ. Отсюда он делал ошибочный вывод о невозможности устранения хроматической аберрации. Радикальное улучшение оптической аппаратуры могло быть достигнуто, по мнению Ньютона, переходом от рефракторов к рефлекторам, и он сам сконструировал такой рефлектор в 1668 г., а затем второй — в 1671 г. Из доктрины Ньютона вытекали его воззрения на цветность тел. Цвета тел обусловлены их способностью отражать одни лучи сильнее, чем другие. Изучая вопрос о цветности тел, Ньютон не мог не обратиться к исследованию явлений, наблюдаемых в тонких пленках, явлений, которыми до него занимались Бойль, Гримальди и Гук. Но в отличие от своих предшественников Ньютон переходит от качественных поверхностных наблюдений к глубокому анализу этих явлений. Желая изучить найденную еще Гуком связь между окраской пленки и ее толщиной, Ньютон придумывает то замечательное расположение линз, которое ныне известно под именем установки для получения ньютоновых колец. Он установил, что получаемые кольца были видны как в проходящем, так и в отраженном свете, но порядок чередования цветов в обеих картинах был обратный. Там, где в отраженном свете наблюдалось кольцо определенного цвета, в проходящем было кольцо дополнительного цвета. Им была установлена зависимость радиуса кольца от толщины слоя и наклона падающих лучей. Он установил, что квадраты диаметров колец возрастают в арифметической прогрессии нечетных или четных чисел. Изучая чередование колец, Ньютон открывает периодичность света и измеряет впервые длину волны, являющейся основной характеристикой этой периодичности. Акад. Вавилов дает сопоставление измерений Ньютона с современными данными (см. таблицу на стр. 79).

Как видим, измерения Ньютона были произведены с изумительной, по тому времени, тонкостью. Отмечаются только значительные расхождения в оранжево-красной части спектра.

Название цвета	По Ньютону	Прибл. истинное значение
Крайний фиолетовый	406	393
Между индиго и фиолетовым . . .	439	426
» синим и индиго	459	454
» зеленым и синим	492	492
» желтым и зеленым	532	536
» оранжевым и желтым	571	587
» красным и оранжевым	596	647
Крайний красный	645	760

Открытие периодичности света Ньютоном было расцениваемо им по справедливости как фундаментальное обстоятельство. Современники Ньютона Гук и Гюйгенс, равно как и последующие оптики, не в состоянии были понять значение этого открытия, иначе судьба корпускулярной теории была бы решена раньше исследований Френеля. Ньютон понимал необходимость истолкования найденных фактов и дал оригинальную теорию «приступов», по которой частицы светового луча обладают некоторой внутренней периодичностью, так что у них сменяется периодически фаза легкого прохождения фазой легкого отражения и наоборот. Если частица падает на отражающую поверхность в первой фазе, она будет пропущена ею, в противоположном же случае она будет ею отброшена. Эту свою теорию приступов Ньютон формулирует в следующих выражениях:

ПРЕДЛОЖЕНИЕ XII.

«Каждый луч света при своем прохождении через любую преломляющую поверхность приобретает некоторое переходящее строение или состояние, которое при продвижении луча возвращается через равные интервалы и располагает луч при каждом возвращении к легкому прохождению через ближайшую преломляющую поверхность, между же возвращениями к легкому отражению».

Ньютон устанавливает, что наибольшая разность хода лучей, при которой еще может происходить интерференция, составляет несколько тысяч таких попеременных чередований. Эти чередования зависят от обеих поверхностей: «Они происходят... на второй поверхности, ибо, если бы они происходили на первой, прежде чем лучи дошли до второй, они не зависели бы от второй поверхности».

«На них влияет также некоторое действие или расположение, распространяющееся от первой поверхности, так как иначе на второй поверхности они не зависели бы от первой. И это действие или расположение при своем распространении прерывается и возвращается через равные интервалы».

«Какого рода это действие или расположение? Я не исследую здесь, состоит ли оно из вращательного или колебательного движения луча, или среды, или из чего-либо еще. Те, которые неохотно одобряют всякое новое открытие, если оно не объясняется гипотезой, могут в настоящем случае предположить, что, подобно тому как камни, падая на воду, приводят ее в колебательное движение, и все тела при ударе возбуждают колебания в воздухе, так и лучи света, ударяясь о какую-нибудь преломляющую или отражающую поверхность, возбуждают колебания в преломляющей или отражающей среде или веществе, заставляя двигаться твердые части преломляющего или отражающего тела, и таким движением вызывают в теле увеличение тепла или жара; можно предположить, что колебания, возбужденные таким образом, распространяются в преломляющей или отражающей среде или веществе, подобно тому как колебания распространяются в воздухе, вызывая звук, и движутся быстрее, чем лучи, обгоняя их; когда луч находится в той части колебания, которая согласуется с его движением, он легко пробивается через преломляющую поверхность; находясь в противоположной части колебания, мешающей его движению, он легко отражается; следовательно, каждый луч попеременно располагается или к легкому отражению, или к легкому пропусканию каждым колебанием, обгоняющим его. Я не разбираю здесь, верна или ошибочна эта гипотеза.

Я довольствуюсь простым открытием, что лучи света благодаря той или иной причине попеременно располагаются к отражению или преломлению во многих чередованиях».

Верный своему индуктивно-эмпирическому методу, Ньютон высказывает свою гипотезу направляющих волн очень осторожно. Но этой гипотезы он придерживается с постоянством, заставляющим думать, что он усматривал в ней нечто большее, чем первое пришедшее в голову объяснение. Гипотеза направляющих волн высказана была им в мемуаре 1675 г. Она сохранилась во всех изданиях «Оптики» и в «вопросах» последней. Ньютон снова возвращается к ней (вопрос 17 «Оптики»). Ньютон усматривал в волновой теории света непреодолимые трудности (о них мы скажем дальше). Но он хорошо представлял природу волнового движения, и открытый им факт периодичности света вызвал в его уме образ волнового движения, направляющего движение световых корпускул. Так Ньютон впервые вводит в оптику дуалистическую теорию волн-корпускул. Без этой теории ему трудно было бы объяснить, почему одни и те же световые частицы, падая на граненую поверхность, частью отражаются ею, частью пропускаются. Таким образом, Ньютон все более и более убеждался в сложности световых корпускул и приходил к выводу о необходимости приписывать световым лучам ряд изначальных свойств: цветность, периодичность и, наконец, поляризацию.

В последней части «Оптики» Ньютон описывает дифракционные явления: тень от волоса, явления у края экрана, дифракцию от щели, образованной двумя лезвиями острых ножей, дифракцию от клина. Эти опыты приводят его к выводу, что световые частицы способны взаимодействовать с частицами тел и отклоняться при прохождении около краев этих тел.

Странно, однако, что Ньютон не заметил внутренней светлой полосы в дифракционной картине от волоса и вообще не заметил отклонения света внутрь геометрической тени.

К «Оптике» Ньютона приложены «вопросы», в которых он намечает дальнейшую разработку оптических задач и

обсуждает различные гипотезы света. Описывая в этих «вопросах» явление двойного лучепреломления и открытую Гюйгенсом поляризацию, Ньютон приходит к выводу о наличии в световом луче полярных свойств: «Каждый луч можно рассматривать как имеющий четыре стороны, или четверти, две из которых, противоположные одна другой, склоняют луч к необыкновенному преломлению, как только любая из них повернется к краю необыкновенного преломления в кристалле; две же другие стороны, хотя бы и повернутые к краю необыкновенного преломления в кристалле, склоняют его только к обыкновенному преломлению». «...Каждый луч света имеет поэтому две противоположные стороны, изначально наделенные свойством, от которого зависит необыкновенное преломление, и две другие стороны, этим свойством не наделенные»¹⁾.

Это последнее свойство лучей особенно укрепляет Ньютона в убеждении, что свет представляет корпускулы. «Я говорю только, что как бы то ни было, трудно понять, каким образом лучи света, если они не являются телами, могут обладать по двум сторонам постоянной способностью, отсутствующей по другим сторонам, причем независимо от их положения в пространстве или среде, через которую они проходят».

Оптика Ньютона
и оптика Гюй-
генса.

Так складывается у Ньютона представление о световых частицах, взаимодействующих с телами на расстоянии и наделенных изначальными неизменными свойствами. Но он не перестает думать и об эфирной теории света, вначале охотно развивая следствия из этой теории (мемуар 1675 г.), а в последние годы («вопросы» «Оптики»), все более и более склоняясь к мысли о ее несостоятельности. Волновая теория света в ясной форме была высказана Гюйгенсом в «Трактате о свете», вышедшем в 1690 г., и в расплывчатой и крайне неопределенной форме — Гуком²⁾. Гюйгенс считал представление о корпускулярности света несовместимым прежде

¹⁾ «Оптика», стр. 279—280.

²⁾ Надо отметить, однако, что Гук был первым, высказавшим гипотезу поперечных световых волн.

всего с фактом суперпозиции световых потоков. (Этот аргумент впоследствии будет приводить и Эйлер.) «Если принять во внимание чрезвычайную быстроту, с которой распространяется свет во все стороны, а также то, что, когда он приходит из различных и даже совершенно противоположных мест, лучи его проходят один через другой, не мешая друг другу, то станет совершенно понятно, что, когда мы видим светящийся предмет, это не может происходить вследствие переноса материи, которая доходит до нас от этого предмета наподобие пули или стрелы, пересекающих воздух».

«...значит, свет распространяется другим образом; привести нас к пониманию способа распространения света может то, что нам известно о распространении звука в воздухе»¹⁾).

Гюйгенс высказывает гипотезу, что свет — это волновое движение в эфире. Распространение волн происходит согласно принципу, по которому каждая точка волнового фронта является центром сферических волн. Огибающая этих волн дает новое положение волнового фронта. Отдельные волны не могут создавать светового ощущения, и поэтому там, где они не имеют огибающей, световой поток не распространяется. Этим Гюйгенс объясняет образование геометрической тени с резко очерченными краями. Однако, допустив такое объяснение тени, Гюйгенс устраняет возможность истолкования дифракции.

Точно так же Гюйгенс отказывается от допущения периодичности световых волн. Его теория света — это теория взрывных аperiодических импульсов, та теория, которую впоследствии развивал Шустер. Тем самым Гюйгенс исключает возможность истолкования интерференционных явлений в своей теории.

Гюйгенс дал наглядную модель распространения световых волн в кристаллах. Анизотропия кристаллической среды приводит к образованию в ней двойного волнового фронта —

¹⁾ Гюйгенс, Трактат о свете, ОНТИ, 1935, стр. 12.

обыкновенной и необыкновенной волны. Но Гюйгенс считает световые волны продольными и, описав весьма хорошо явления двойного лучепреломления, остановился перед объяснением открытого им явления поляризации. Так создано парадоксальное положение: волновая оптика Гюйгенса оказалась несостоятельной в истолковании основных фактов волновой же оптики: дифракции, интерференции, поляризации. Гюйгенс обеднил содержание своего трактата, ограничив его рамками геометрической оптики, включая сюда и геометрическую оптику анизотропных тел. Понятно, что трактат Гюйгенса в глазах современников не мог идти ни в какое сравнение с насыщенной огромным физическим содержанием «Оптикой» Ньютона. Ньютон, высоко ценивший Гюйгенса как механика, геометра и астронома, не мог так же высоко оценить его оптику. В его глазах оптика Гюйгенса могла только дискредитировать волновую теорию света. В вопросе 28 своей «Оптики» Ньютон спрашивает: «Не ошибочны ли все гипотезы, в которых свет приписывается давлению или движению, распространяющемуся через некоторую жидкую среду?»,—и указывает на такие трудности волновой гипотезы:

1) «Должны были бы наблюдаться загибания света внутрь препятствия: давление или движение не могут распространяться в жидкости по прямым линиям около препятствия, задерживающего часть движения, — они будут загибаться и распространяться повсюду внутри покоящейся среды, лежащей за препятствием». Так огибают препятствия водяные и звуковые волны. «Относительно света неизвестно ни одного случая, чтобы он распространялся по извилистым проходам или загибался внутрь тени». И, вспоминая о дифракции, он добавляет: «Лучи, проходящие очень близко от краев какого-нибудь тела, немного загибаются действием тела, как это мы видели выше; но это загибание направлено не внутрь, но от тени и происходит только при прохождении луча около тела и на очень малом расстоянии от него. Как только луч проходит мимо тела, он идет дальше по прямой».

Как было сказано выше, Ньютон не заметил загибания света внутрь тени.

2) Трудность объяснения поляризации.

3) «Против заполнения неба жидкими средами, если они только не чрезвычайно разрежены, возникает большое сомнение в связи с правильными и весьма длительными движениями планет и комет по всякого рода путям в небесном пространстве. Ибо отсюда ясно, что небесное пространство лишено всякого заметного сопротивления, а следовательно и всякой ощутимой материи».

«Если же ее отбросить, то и гипотезы о том, что свет состоит в давлении или движении, распространяющемся через такую среду, отпадают вместе с нею».

Ньютон предлагает в вопросе 29 «Оптики» другую гипотезу: «Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемыми светящимися веществами? Ибо такие будут проходить через однородные среды без загибания в тень, соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способны сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чем заключается другое условие лучей света. Прозрачные вещества действуют на лучи света на расстоянии, преломляя, отражая и изгибая их, и взаимно лучи двигают части этих веществ на расстоянии, нагревая их; это действие и противодействие на расстоянии очень похоже на притягательную силу между телами».

Так возникают обе знаменитые оптические концепции, авторы которых сейчас же связывают их с допущением или недопущением действия на расстоянии. Этот вопрос был тесно связан с актуальнейшей проблемой того времени — проблемой тяготения. Рассмотрим эту проблему более подробно.

Тяготение. Проблемой тяготения Ньютон начал заниматься в те же 1665—1666 гг., на которые падают его занятия оптикой и математикой. Он сам говорит, что открыл закон тяготения, «постоянно думая об этом предмете».

В мемуаре 1675 г. «Об одной гипотезе, объясняющей свойства света», Ньютон высказывается по вопросу о природе тяготения в картезианском духе. Здесь он постулирует существование эфирной среды, имеющей во многом «то же строение, что и воздух, но значительно разреженнее, тоньше и эластичнее». Эфир — неоднородная материя и состоит из основного инертного вещества, к которому примешаны различные эфирные газы или пары. «В пользу такой неоднородности, повидимому, говорят электрические и магнитные истечения и начало тяготения». Ньютон идет настолько далеко в признании универсальности эфира, что высказывает гипотезу о происхождении из него всех вещей: «Итак, может быть, все вещи произошли из эфира». Конденсацией и испарением эфира можно объяснить электрическую пляску кусочков бумаги под стеклом. «Гравитационное притяжение Земли может также причиняться непрерывной конденсацией некоторого иного, схожего эфирного газа. Этот газ — не основное тело косного эфира, но нечто более тонкое и субтильное, рассеянное в нем, имеющее, возможно, маслянистую или клейкую, вязкую и упругую природу». Этот газ непрерывно испаряется, поднимаясь кверху и падая вниз. Этот падающий газ увлекает тела. «Солнце, как и Земля, быть может, обильно впитывает газы для сохранения своего сияния и для сдерживания планет, — чтобы они не удалились от него».

Но Ньютон не мог ограничиться качественной картиной тяготения, воссозданной им в духе Декарта. Эта картина подсказывала и закон зависимости силы тяготения от расстояния — обратную пропорциональность квадрату расстояния. Отсюда было недалеко до вывода, что Луна удерживается на своей орбите действием земной тяжести, ослабленной по сравнению с ее величиной на земной поверхности во столько раз, во сколько раз квадрат расстояния Луны от центра Земли больше квадрата радиуса Земли. Можно было вычислить напряжение поля тяжести на лунной орбите и сравнить его с величиной центростремительного ускорения, вычисленной по формуле Гюйгенса. Расчеты, проделанные

Ньютоном, не дали удовлетворительных результатов, и Ньютон отказался на время от своей гипотезы.

Более точные измерения радиуса Земли, произведенные Пикаром, вновь побудили Ньютона к проверке его гипотезы. Результат получился вполне удовлетворительным. Луна, несомненно, непрерывно падает на Землю, одновременно удаляясь от нее равномерным движением по касательной. Сила тяжести распространяется до Луны, убывая обратно пропорционально квадрату расстояния.

Дальнейший шаг состоял в том, чтобы распространить закон тяготения на солнечную систему. Из законов Кеплера математическим анализом Ньютон приходит к выводу, что силой, удерживающей планеты на орбитах вокруг Солнца, является сила взаимного тяготения, убывающая обратно пропорционально квадрату расстояния. Обратно, допустив существование такой силы, Ньютон показал, что планета будет двигаться по коническому сечению, форма которого определена начальными условиями. Эти сложные расчеты, приведшие его к результатам, хорошо согласующимся с астрономическими данными, позволили Ньютону сделать последний шаг — обобщить найденную зависимость в качестве всеобъемлющего закона природы, охватывающего взаимодействия всех материальных частиц. Так, непрерывной, напряженной работой мысли Ньютон пришел к своему великому открытию.

Закон тяготения оставался еще гипотезой, поскольку экспериментально не было доказано существования такого тяготения для всех тел. Но Ньютон после успешного применения его в небесной механике не сомневался в универсальной применимости найденного закона. Так как этот закон непрерывно проверялся им то на движении Луны, то на законах Кеплера, то Ньютон полагал его выведенным чисто индуктивным путем, а трудности согласования точной формы законов с картезианской картиной движений в непрерывной среде побудили его забыть о своих первоначальных размышлениях и ограничиться формально-описательной стороной дела. Повидимому, так и возникло знаменитое «Hypotheses

non fingo», имеющее целью положить конец бесконечным спорам и беспочвенным домыслам и сконцентрировать внимание на важной и трудной задаче математического описания движений тел, взаимодействующих с силами, зависящими от расстояния. Этой задаче и посвящены в своей основной части «Математические начала натуральной философии», к анализу которых мы и обращаемся.

Б. «Начала» Ньютона.

«Начала» — это вершина научного творчества Ньютона. Осторожный Ньютон не спешил с опубликованием своего бессмертного творения и уступил только настояниям Галлея, взявшего на себя расходы по изданию. Величие замысла автора «Начал», подвергнувшего математическому анализу систему мира, глубина и строгость изложения поразили современников. С выходом в свет «Начал» слава Ньютона стала общепризнанной, его авторитет — непререкаемым. Антикартезианской и антиматериалистической оппозиции было чрезвычайно важно привлечь на свою сторону Ньютона. Отсюда возникает знаменитая борьба за второе издание «Начал»¹⁾. Котс и епископ Бентли приложили много усилий, чтобы выхолостить из «Начал» материалистический дух и придать им боевую, полемическую, антикартезианскую окраску. Старания этих поклонников Ньютона, положивших начало ньютонианству, сводились к одному существенному пункту: изгнать материалистические гипотезы из физики, объективизировать категорию силы, действующей на расстоянии. Выполнению этой задачи посвящено предисловие Котса ко второму изданию «Начал».

Предисловие Котса. В начале своего предисловия Котс говорит о трех методах, применяемых в изучении физики. Первый метод — это метод перипатетиков, стремящихся все объяснить с помощью скрытых качеств. У них, как говорит

¹⁾ З. Л. Цейтлин, Наука и гипотеза.

Котс, «все сводилось к наименованию отдельных предметов, а не к самой сущности дела, и можно сказать, что ими создан философский язык, а не самая философия».

Второй метод — метод картезианцев. «Они утверждали, что все вещество во вселенной однородно и что все различие видов, замечаемое в телах, происходит от некоторых простейших и доступных пониманию свойств частиц, составляющих тела». Котс обвиняет картезианцев в том, что они приписывают частицам не истинные, а вымышленные свойства.

«Таким образом они предаются фантазиям, пренебрегая истинной сущностью вещей, которая, конечно, не может быть изыскана обманчивыми предположениями, когда ее едва удастся исследовать при помощи точнейших наблюдений. Заимствующие основания своих рассуждений из гипотез, даже если бы все дальнейшее было ими развито точнейшим образом на основании законов механики, создали бы весьма изящную и красивую басню, но все же лишь басню».

«Остается третья категория — это те, кто является последователями экспериментальной философии (т. е. экспериментального метода при исследовании явлений природы). Они также стремятся вывести причины всего сущего из возможно простых начал, но они ничего не принимают за начало, как только то, что подтверждается совершающимися явлениями. Они не измышляют гипотез и не вводят их в физику иначе, как в виде предположений, коих справедливость подлежит исследованию. Таким образом, они пользуются двумя методами — аналитическим и синтетическим. Силы природы и простейшие законы их действия они выводят аналитически из каких-либо избранных явлений, а затем синтетически получают законы остальных явлений». Этот метод и есть метод Ньютона.

Чтобы иллюстрировать сущность ньютоновского метода и одновременно дать бой в самом важном пункте, Котс излагает учение ньютоновцев о тяготении. Это учение базируется на следующих предпосылках.

1. «Все тела тяготеют к Земле». «Не существует истинно легких тел», вопреки мнению перипатетиков.

2. «Если все тела тяготеют к Земле, то и Земля равным образом тяготеет ко всем телам». Если бы тяготение не было взаимным, то, разделив мысленно объем Земли на две части, мы нашли бы, что одна часть, перетягивая другую, заставила бы Землю ускоренным движением удаляться в бесконечность. Этого не наблюдается, действия обеих произвольно взятых частей уравниваются, т. е. действия тяготения взаимны и между собою равны».

3. «Веса тел, равноотстоящих от центра Земли, относятся между собой, как количества материи или массы тел». Экспериментально это доказывается равенством ускорений падающих тел в *бойлевой* пустоте и опытом с маятниками.

4. «Притягательные силы тел при равных расстояниях пропорциональны массам тел». Отсюда следует, что действие Земли слагается из действий отдельных частиц ее и «все земные тела взаимно притягиваются с абсолютными силами, пропорциональными массе притягивающего тела. Такова природа силы тяжести на Земле, рассмотрим, какова она в небесном пространстве», — заключает Котс.

Так как планеты двигаются по криволинейным орбитам, то должна существовать сила, отклоняющая их от прямолинейного пути по касательной. Из первого и второго законов Кеплера можно вывести существование центральной силы. «Этой силе может быть придаваемо подходящее наименование: по отношению к движущемуся телу ее можно назвать центростремительной, по отношению к центральному телу — притягательной, независимо от того, какой бы причине ее происхождение ни приписывалось». Из третьего закона Кеплера следует, что эта сила обратно пропорциональна квадрату расстояния.

«Таким образом, центростремительные силы для всех планет обратно пропорциональны квадратам расстояний до центров орбит». Установив существование таких сил, следует далее исследовать, одинаковы ли эти силы с силой тяжести или нет. Произведенный в первую очередь анализ

движения Луны показывает, «что центростремительная сила, которою Луна постоянно отклоняется от касательной к своей орбите и вынуждается описывать эту орбиту, есть сила тяжести Земли, распространяющаяся до Луны». Так как движение планет — явление той же природы, что и движение Луны, и подчиняется тем же законам, то отсюда следует вывод о всеобщем характере силы тяготения. «Как Луна тяготеет к Земле, и, обратно, Земля к Луне, так и все спутники тяготеют к своим главным планетам, и, обратно, главные планеты — к своим спутникам, и, наконец, все главные планеты — к Солнцу, и Солнце — к ним».

Центростремительная сила Солнца распространяется не только на планеты, но и на кометы. «Следовательно, природа тяготеющих сил такова, что их силы исходят на всякие расстояния и действуют на все тяготеющие тела, и все планеты и кометы взаимно притягиваются и тяготеют друг к другу».

«Отсюда следует, что и отдельные малейшие частицы обладают также притягательными силами, пропорциональными их массам, как это было показано для тел земных. Эти силы также будут обратно пропорциональны квадратам расстояний, ибо математически доказывается, что шары, составленные из частиц, притягивающихся по этому закону, притягиваются по такому же закону».

До сих пор Котс точно излагает метод Ньютона и правильно указывает на противоположность этого метода фантастическим построениям крайних картезианцев. Ньютона так утомляли бесконечные споры о гипотезах света и тяжести, что он не мог не отнестись сочувственно к критике позиций картезианцев, данной Котсом. Но он не мог согласиться, как это мы увидим из дальнейшего анализа его «Начал», и с теми крайними выводами, к которым приходит Котс. Каковы же эти выводы?

Первый и основной вывод Котса заключается в том, что тяготение объявляется общим свойством тел. «Подобно тому как нельзя представить себе тело, которое бы не было протяженным, подвижным и непроницаемым, так нельзя

себе представить и тело, которое бы не было тяготеющим, т. е. тяжелым».

Котс чувствует, что его концепция мало отличается от признания тяжести скрытым качеством и парирует это возражение замечанием, что свойство тяжести не скрыто, а подтверждено наблюдениями. Одновременно он делает выпад против своих противников: «Правильнее признать, что к скрытым причинам прибегают те, кто законы этих движений приписывает неведомо каким вихрям некоторой чисто воображаемой материи, совершенно непостижимой чувствами».

Котс объявляет тяготение простейшей причиной, которая не нуждается в дальнейшем объяснении. «Поэтому после того как показано, что тяготение действительно имеет место в природе, и после того как показано, каким образом от него происходит движение всех небесных тел, то совершенно напрасно и заслуживает лишь осмеяния возражение, что те же движения следует еще объяснить и вихрями, если бы даже такое объяснение и оказалось возможным, чего мы, однако, совершенно не допускаем».

И Котс приступает к резкой критике гипотезы вихрей. Его аргументация сводится к следующим пунктам:

1) Если планеты и кометы переносятся вихрями, то придется допустить, что, поскольку и планеты и кометы могут проходить через одно и то же место с различными скоростями, части эфирной жидкости несутся с различными скоростями. «Спрашивается, если множество вихрей заключается в том же самом пространстве и эти вихри проникают друг через друга и обладают разнообразными движениями, ибо их движения должны соответствовать движениям переносимых ими тел — движениям, совершающимся по коническим сечениям и с чрезвычайною правильностью, и притом то весьма растянутым, то весьма близким к кругу, то как же может быть, что эти вихри сохраняют свою целость и в течение веков не претерпевают никаких возмущений от столкновений с встречаемой ими материей».

2) В соответствии с действием центробежной силы материя вихря должна обладать большей плотностью на пери-

ферии вихря и, «следовательно, проходящие через вихрь кометы будут встречать громадное сопротивление, которое и проявилось бы весьма ощутительно», чего на самом деле не наблюдается.

3) Из отсутствия сопротивления движущимся в ней телам следует заключить, что небесная жидкость не инертна. Но она тогда ничем не отличается от пустоты.

Но самым решающим в глазах Котса аргументом против картезианцев, не допускающих существования пустоты в природе, является неизбежность материалистических выводов из их философии. «Но тогда их надо причислить к отребью того нечестивого стада, которое думает, что мир управляется роком, а не провидением и что материя, в силу своей собственной необходимости, всегда и везде существовала, что она бесконечна и вечна». Котс и расценивает с точки зрения воинствующего идеализма картезианство и ньютоновство, отдавая предпочтение последнему.

«Мир, отличающийся прекраснейшими формами и разнообразием движений, мог произойти не иначе, как только по свободной воле все предопределяющего и всем управляющего божества».

«Из этого источника и проистекли все те свойства, которые мы называем законами природы, в которых проявлено много величайшей мудрости, но нет и следов необходимости. Поэтому эти законы надо искать не в сомнительных допущениях, а распознавать при помощи наблюдений и опытов. Если же кто возомнит, что он может найти истинные начала физики и истинные законы природы единственно силой своего ума и светом своего рассудка, тот должен будет признать, или что мир произошел в силу необходимости и что существующие законы природы явились следствием той же необходимости, или же что мироздание установлено по воле бога и что он, ничтожнейший человечешко, сам бы предвидел все то, что так превосходно создано. Всякая здравая и истинная философия должна основываться на изучении совершающихся явлений, которое, если мы не будем упорствовать, приведет нас к познанию тех начал, в коих с наи-

большую ясностью проявляются высочайшая мудрость и всемогущество всемогудрейшего и всемогущего творца. Поэтому нельзя отвергать эти начала в силу того, что некоторым людям они не нравятся. Эти начала можно называть или чудесами, или скрытыми свойствами, как кому угодно, — насмешливые названия не обращаются в недостатки самого дела. Или же придется признать что философия основана на безбожии».

Такова позиция ньютонианцев, с предельной ясностью сформулированная Котсом, со всеми вытекающими из нее реакционными идеалистическими выводами. Котс при прямом соучастии епископа Бентли и предпринял тщательную обработку «Начал» в ньютонианском духе. О действительной же позиции самого Ньютона мы можем сделать вывод только после полного анализа его «Начал».

Первому изданию «Начал» предпослано предисловие самого Ньютона. Ньютон указывает в этом предисловии на основную тенденцию современного ему естествознания: «подчинить явления природы законам математики». Эта же задача является и задачей сочинения Ньютона. Ньютон указывает далее, что такой важный отдел математики, как геометрия, основывается на *механической практике* и следовательно является частью общей механики. Эта глубокая мысль Ньютона только впоследствии будет подхвачена и развита Эйнштейном. Развивая подробнее идею своего сочинения, Ньютон как бы мимоходом набрасывает программу механистической физики:

«Сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики, как будет видно, состоит в том, чтобы *по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления*»¹⁾. Так, в первых двух книгах сочинения Ньютона по наблюдаемым явлениям выводится закон действия центральных сил, и в третьей книге найденный закон приме-

¹⁾ Курсив мой. — П. К.

няется к описанию системы мира. «Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом, ибо многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин, покуда неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга»¹⁾).

Так формулирует Ньютон цели и методы теоретической физики. Первой задачей ее, по Ньютону, является задача адекватного математического описания наблюдаемых явлений. Но это только первая задача, хотя и чрезвычайно важная. Причины взаимодействий частиц покуда неизвестны, — это не значит, как полагают ньютонианцы, что их и не следует искать. Ньютон полагает иное. Об этом он сам скажет в «Общем поучении» к «Началам». В своем же сочинении он предполагает ограничиться первой частью задачи.

Уже в намеченной Ньютоном программе **Масса и сила у Ньютона.** ясно чувствуется позиция автора. Ньютон выступает в ней как *атомист*. Забвение этого обстоятельства и вызвало столько недоумений по поводу ньютонова определения массы, с которого и начинается его сочинение. Вот это определение:

Определение 1.

«Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности».

В самом деле, это определение предполагает предварительное определение плотности. Последнюю мы определяем сейчас как массу единицы объема. Ньютон же в пояснении к определению подчеркивает, что от уплотнения частиц масса тела увеличивается, как, например, увеличивается масса воздуха при его сжатии, масса порошка или снега от сжатия или таяния; «при этом я не принимаю в расчет той

¹⁾ Курсив мой. — П. К.

среды, если таковая существует, которая свободно проникает в промежутки между частицами». Следовательно, плотность тела, по Ньютону, определяется числом частиц в единице объема. Опытным путем масса определяется по весу тела, «ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками, произведенными точнейшим образом...».

То обстоятельство, что Ньютон указывает способ физического сравнения масс тел по их весам, позволяет забыть о зависимости его определения от натурфилософских воззрений. Масса Ньютона — это не мера инерции Декарта, это неизменное, не зависящее ни от каких обстоятельств количество вещества. Само собой разумеется, что масса обладает свойством аддитивности: в совокупности тел общее число частиц равно сумме частиц отдельных тел, и, следовательно, масса совокупности тел равна сумме масс отдельных тел. Однако Ньютон оговаривает специально не аддитивность массы, а аддитивность количества движения. Определив последнее как величину, пропорциональную произведению массы на скорость («Определение II»), он добавляет: «Количество движения целого есть сумма количеств движения отдельных частей его».

Понятие количества вещества имеет метафизический оттенок, пока не указаны способы его измерения. Вес — это внешнее действие на материю, переменное по своему характеру, и потому не может быть отождествлен с тем неизменным атрибутом тела, каким, по Ньютону, является масса. В нем же проявляется масса тела? Ответом на этот вопрос является:

Определение III.

«Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». Эта сила, — добавляет Ньютон, — пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее».

Вот здесь-то и вводится обычное физическое определение массы как меры инерции. Инерция тела проявляется двояко — как сопротивление и как напор: «Как сопротивление — поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить свое состояние; как напор — поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия». Инерция является изначальным неизменным атрибутом материи, ее «врожденной силой», поэтому ее вполне можно отождествить с количеством вещества. Пропорциональность ее весу является случайным, необъяснимым обстоятельством.

Так обстоит дело у Ньютона с категорией массы. Последующие определения посвящены уточнению понятия силы.

Если к категории массы Ньютон подходит с позиций атомизма, то к категории силы он подходит в своеобразном картезианском духе, а именно — с точки зрения теории поля. Современная теория поля — это математическая разработка картезианской идеи физического пространства, и основные понятия этой теории установлены в ньютоновых «Началах».

Определив силу («Определение IV») как «действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения», Ньютон указывает на внешний по отношению к телу характер этого действия. Сила может быть произведена ударом, давлением и, наконец, некоторым силовым центром. Это последнее действие Ньютон считает необходимым определить полнее и точнее.

Определение V.

«Центростремительная сила есть та, с которой тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся».

Таким полем центростремительных сил является пространство вокруг Земли, пространство вокруг магнита, пространство вокруг Солнца. Центростремительная сила в каждой точке такого пространства определяется мощностью самого силового центра, положением точки воздействия и, наконец,

массой тела, помещенного в эту точку. В связи с этим Ньютон различает в центростремительной силе три фактора ее: абсолютную, ускорительную и движущую величину.

Определение VI.

«Абсолютная величина центростремительной силы есть мера большей или меньшей мощности самого источника ее распространения из центра в окружающее ее пространство».

Определение VII.

«Ускорительная величина центростремительной силы есть мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течение данного времени».

Определение VIII.

«Движущая величина центростремительной силы есть ее мера, пропорциональная количеству движения, которое ею производится в течение данного времени».

То, что Ньютон называет «ускорительной силой», есть не что иное, как напряженность силового поля — фундаментальное понятие теории силового поля. Движущая сила пропорциональна как напряженности поля, так и массе тела. Ее можно измерить статическим методом, прилагая к телу силу, препятствующую его перемещению под действием силового поля. Ньютон подчеркивает, что вводимые им понятия являются *математическими* характеристиками поля. «Эти понятия должно рассматривать как математические, — заявляет он, — ибо я еще не обсуждаю физических причин и места нахождения сил». И несколько ниже он еще раз указывает: «Название же «притяжение» (центром), «натиск» или «стремление» (к центру) я употребляю безразлично одно вместо другого, рассматривая эти силы не физически, а математически, поэтому читатель должен озаботиться, чтобы *ввиду таких названий не думать, что я ими хочу определить самый характер действия или физические*

причины происхождения этих сил, или же приписывать центрам (которые суть математические точки) действительно и физически силы, хотя я и буду говорить о силах центров и о притяжении центрами».

Следовательно, Ньютон не склонен объективизировать силу, как это делали ньютонианцы. Он рассматривал ее как математическую категорию, которая позволяет описать то взаимодействие тел, результатом которого являются их ускорения.

Раздел «Определения» заключается знаменитым «поучением», в котором Ньютон излагает свои взгляды на пространство и время, относительное и абсолютное движение. Ньютон хорошо знает, что наблюдаемые в природе движения имеют относительный характер: «движение и покой, при обычном их рассмотрении, различаются лишь в отношении одного к другому, ибо не всегда находится в покое то, что таковым простому взгляду представляется», — говорит он в пояснении к «Определению III», и описание их требует задания системы отсчетов. Но Ньютон полагал, что можно говорить об абсолютном движении тел, заимствуя у Гассенди представления об абсолютном пространстве и времени. Вот как определяет он эти фундаментальные в его механике понятия:

«I. *Абсолютное, истинное математическое время* само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся, или обыденное, время есть или точная, или изменчивая постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год.

II. *Абсолютное пространство* по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное: так, например, протяжение пространств подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли. По виду и величине абсолютное и относительные пространства одинаковы, но численно не всегда остаются одинаковыми. Так, например, если рассматривать Землю подвижную, то пространство нашего воздуха, которое по отношению к Земле остается всегда одним и тем же, будет составлять то одну часть пространства абсолютного, то другую, смотря по тому, куда воздух перешел, и, следовательно, абсолютно сказанное пространство беспрерывно меняется.

III. *Место* есть часть пространства, занимаемая телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным. Я говорю «часть пространства», а не положение тела и не объемлющая его поверхность. Для равнообъемных тел места равны, поверхности же от несходства формы тел могут быть и неравными. Положение, правильно выражаясь, не имеет величины, и оно само по себе не есть место, а принадлежащее месту свойство. Движение целого то же самое, что совокупность движений частей его, т. е. перемещение целого из его места то же самое, что совокупность перемещений его частей из их мест, поэтому место целого то же самое, что совокупность мест его частей и, следовательно, оно целиком внутри всего тела.

IV. *Абсолютное движение* есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, *относительное* — из относительного в относительное».

Признавая объективное существование пространства и времени, Ньютон становится на материалистическую точку зрения. Но, отрывая абсолютное пространство и время от реальных вещей и процессов, Ньютон придает этим категориям метафизический характер. Абсолютное время характеризуется, по Ньютону, равномерностью течения; для от-

носительного времени, постигаемого в процессах, например движениях светил, такой равномерности может и не быть. «Возможно, что не существует (в природе) такого равномерного движения, которым время могло бы измеряться с совершенной точностью». Абсолютное пространство Ньютона— это абсолютно неподвижное пространство. «Как неизменен порядок времени, так неизменен и порядок частей пространства. Если бы они переместились из мест своих, то они продвинулись бы (так сказать) в самих себя, ибо время и пространство составляют как бы вместилища самих себя и всего существующего. Во времени все располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве — в смысле порядка расположения. По самой своей сущности они суть места, приписывать же первичным местам движения нелепо. Вот эти-то места и суть места абсолютные, и только перемещения из этих мест составляют абсолютные движения».

На практике же мы имеем дело с относительными движениями, связывая системы отсчета с теми или иными телами. «Может оказаться, что в действительности не существует покоящегося тела, к которому можно было бы относить места и движения прочих». Абсолютное же время и пространство непостижимы чувствами и теряют свой физический характер, превращаясь в чистые абстракции. Можно было бы обойтись при физических исследованиях и без этих абстракций, оперируя с теми пространственно-временными представлениями, к которым приводит изучение реальных процессов.

Однако Ньютон полагает, что существуют физические способы обнаруживания абсолютных движений, т. е. перемещений тел в абсолютном пространстве. Обнаружить равномерное прямолинейное движение системы отсчета невозможно по классическому принципу относительности Галилея, принимаемому и Ньютоном. Но можно обнаружить проявления абсолютного движения системы. Абсолютное движение отличается от относительного тем, что приложенные силы действительно изменяют абсолютное движение тела, в то время как относительное движение может изме-

няться и без действия сил на тело — достаточно только, чтобы силы действовали на окружающие тела. Если подвесить на веревке сосуд с водой и, закрутив веревку, предоставить ей возможность раскручиваться, то будут наблюдаться следующие явления: сосуд приходит в движение, вода же неподвижна, и ее поверхность плоская. По мере раскручивания веревки вода также начинает вращаться, и это скажется в повышении ее уровня у стенок и понижении в центре — части воды удаляются от оси вращения. Таким образом, в начальный момент относительное движение сосуда и воды было наибольшим, однако никаких проявлений этого относительного движения воды не наблюдалось. Затем относительное движение сосуда и воды уменьшилось, вода пришла в вращение так же, как и сосуд, и это проявилось в удалении частиц воды от оси вращения. *Вот это-то стремление вращающихся тел удалиться от оси вращения и дает возможность распознать абсолютное вращение.* «Таким способом, — говорит Ньютон, — могло бы быть определено количество и направление кругового движения внутри огромного пустого пространства, где не существовало бы никаких внешних доступных чувствам признаков, к которым можно было бы относить положения шаров¹⁾. Если бы в этом пространстве, кроме того, находились еще некоторые весьма удаленные тела, сохраняющие относительно друг к другу положение, подобно тому как наши неподвижные звезды, то по перемещению шаров относительно этих тел мы не могли бы определить, чему принадлежит это перемещение — телам или шарам. Но если бы мы, определив натяжение нити, нашли, что это натяжение как раз соответствует движению шаров, то мы заключили бы, что движение принадлежит шарам, а не внешним телам и что эти тела находятся в покое».

Ньютон и полагает, что задачей механики является «на-

¹⁾ Речь идет у Ньютона о воображаемом опыте исследования вращательного движения шаров, связанных нитью, ось вращения которых проходит через центр тяжести шаров. По натяжению нити можно констатировать, вращаются шары или нет.

хождение... истинных движений по причинам, их производящим, по их проявлениям и по разностям кажущихся движений и, наоборот, нахождение по истинным или кажущимся движениям их причин и проявлений». Так вошла в физику ньютонианская концепция абсолютного пространства и времени.

Ньютоновы законы движения.

Установив систему отсчета, покоящуюся в абсолютном пространстве, Ньютон переходит к формулировке законов механики в этой системе.

Закон I.

«Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние».

Lex I.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Закон II.

«Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует».

Lex II.

Mutationem motus proportionalem esse vi motrice impressae et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Закон III.

«Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга равны и направлены в противоположные стороны».

Lex III.

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

Стержнем ньютоновской динамики является второй закон, который математически можно записать так:

$$F = - \frac{d(mv)}{dt}.$$

Сила, как указывает третий закон, всегда является *взаимодействием* между телами. Она определяется конфигурацией взаимодействующих тел, т. е. их массами и взаимными расстояниями. Она не будет зависеть от состояния тела и от наличия других сил. Отсюда вытекает в качестве следствия принцип суперпозиции сил, формулируемый Ньютоном в виде правила параллелограмма сил. Это следствие дает возможность Ньютону перекинуть мост от динамики к статике: он трактует действие простых машин, разлагая и складывая действующие силы по правилу параллелограмма. Таким путем он выводит закон равновесия косо́го рычага и действие наклонной плоскости. А это дает возможность вывести «соотношения между усилиями в машинах, составленных из колес, барабанов, воротов, рычагов, блоков, натянутых канатов и других механизмов, и весами грузов, поднимаемых или прямо, или наклонно, а также силы связок, приводящих в движение кости животных».

Из третьего и второго законов Ньютон выводит закон сохранения количества движения для замкнутой системы, т. е. системы, не подверженной действиям внешних сил, а только взаимодействиям тел, входящих в эту систему (следствие III). В следствии IV утверждается: «Центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел друг на друга не изменяет ни своего состояния покоя, ни движения; поэтому центр тяжести системы всех действующих друг на друга тел (при отсутствии внешних действий

и препятствий) или находится в покое, или движется равномерно и прямолинейно».

«Следовательно, — заключает Ньютон, — по отношению к центру тяжести системы нескольких тел имеет место тот же самый закон сохранения состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения, как и для одного тела. Таким образом, поступательное количество движения отдельного ли тела, или системы тел надо всегда рассчитывать по движению центра тяжести». Так Ньютон устанавливает это весьма важное для динамики системы предложение.

Наконец, из принципа независимости действия сил и из того, что силы взаимодействия определяются только расстоянием между телами, вытекает классический принцип относительности Галилея-Ньютона.

Следствие V. «Относительные движения друг по отношению к другу тел, заключенных в каком-либо пространстве, одинаковы, покоится ли это пространство, или движется равномерно и прямолинейно без вращения»¹⁾.

¹⁾ Положим, что массы M_1 и M_2 взаимодействуют в системе K' в направлении оси X' . Пусть $(x_1, 0, 0)$ координаты точки M_1 , $(x'_2, 0, 0)$ координаты точки M_2 . Сила, действующая со стороны массы M_1 на M_2 , будет некоторой функцией расстояния $x' = x'_2 - x_1$. По второму закону $F(x') = m_2 \frac{d^2 x'_2}{dt^2}$. Если система K' движется равномерно и прямолинейно в направлении оси x' относительно абсолютной системы K , в которой координаты взаимодействующих точек будут $x_1 = x'_1 + vt$; $x_2 = x'_2 + vt$,

то

$$F(x') = F(x'_2 - x_1) = F(x_2 - x_1),$$

$$\frac{d^2 x'_2}{dt^2} = \frac{d^2 x_2}{dt^2} \quad \text{и} \quad F(x) = m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2}.$$

Точно так же относительное движение тел не изменяется, если приложить одновременно ко всем телам равные и одинаково направленные силы.

Раздел «Начал», посвященный изложению аксиом движения и ближайших следствий из них, заключается «Поучением», в котором идет речь об опытной проверке законов движения. Первые два закона и вытекающий из них принцип независимости действия сил подтвержден опытами Галилея над падающими телами. Отправляясь от тех же законов, можно вывести формулу качания маятника, которая подтверждена уже практикой с часами. Третий закон динамики был подтвержден опытами Рена и Мариотта над ударами шаров. Сам Ньютон повторил эти опыты с большей точностью, введя поправку на сопротивление воздуха. Он нашел, что «третий закон по отношению к удару и отражению подтверждается теорией, вполне согласующейся с опытом».

Подтверждается третий закон и для взаимодействий на расстоянии. Если бы эти взаимодействия не были равны, то, поместив между взаимно притягивающимися телами препятствие, мешающее их сближению, можно было бы обнаружить, как это препятствие уступает действию большей силы. «Я производил подобный опыт с магнитом и железом: если их поместить каждый в отдельный сосуд и пустить плавать на спокойной воде так, чтобы сосуды взаимно касались, то ни тот, ни другой не приходят в движение, но вследствие равенства взаимного притяжения сосуды испытывают равные давления и остаются в равновесии». Точно так же, если бы взаимные притяжения частей Земли не уравновешивались, то Земля ушла бы ускоренным движением в бесконечность.

Ньютон считал особенно необходимым подтвердить экспериментально третий закон, как новый и впервые в отчетливой форме высказанный им. Этим объясняется и то, что он сам проделал опыты, подтверждающие этот закон, и то, что он указывает далее на большой опытный материал, до-

ставляемый статическими машинами. «Подобно тому как при ударе и отражении тела, коих скорости обратно пропорциональны массам, равнозначущи, так и при движении механических приборов действующие силы, коих скорости, взятые по направлению самих сил (проекция скорости точки приложения каждой силы на направление этой силы), обратно пропорциональны этим силам, равнозначущи между собой и при стремлении в противоположные стороны взаимно уравниваются. Так обстоит дело в рычаге, блоке, наклонной плоскости, винте, часах и во всякого рода машинах. «Действительность и назначение машин в том только и состоит, чтобы, уменьшая скорость, увеличивать силу и наоборот, ибо во всех подобного рода приборах в сущности решается такая задача: заданный груз двигать заданною силой или же заданное сопротивление преодолеть заданным усилием». И Ньютон заключает поучение многозначным выводом:

«Дальнейшее изложение учения о машинах сюда не относится, я хотел лишь показать, сколь далеко простирается и сколь благонадежен третий закон движения. Если действие движущей силы оценивать пропорционально произведению этой силы и скорости и подобно этому противодействие сопротивлений оценивать для каждой части в отдельности пропорционально произведению ее скорости и встречаемого ею сопротивления, происходящего от трений, сцепления, веса и ускорения, то во всякой машине действие и противодействие будут постоянно равны, и поскольку действие передается машиной и, в конце концов, прилагается к сопротивляющемуся телу, то это последнее его значение будет обратно значению противодействия».

«В этих заключительных словах поучения, — комментирует акад. Крылов, — можно видеть не только начало возможных перемещений в его всеобъемлющем приложении к учению о равновесии машин, т. е. вообще системы тел с полной связью или одною степенью свободы, но и сущность принципа Даламбера, лишь высказанную в столь сжатой форме, что нужен был гений Лагранжа, чтобы это общее начало

выразить одною математическою формулой, включающей в себя всю статику и динамику».

Так Ньютон привлекал для обоснования механики весь современный ему механический опыт. Законы Ньютона подтвердились дальнейшим развитием механики с исключительной точностью. Только в области больших скоростей, с одной стороны, и для весьма малых частиц — с другой, выявились отступления от ньютоновых законов. В области же механики земли и неба ньютоновы законы сохраняют полностью свою силу. Ближайшая задача состояла в том, чтобы развить со всей полнотой следствия из этих законов. Этой задаче и посвящено содержание «Начал».

«Начала» распадаются на три части: первые две части трактуют о движении тел, последняя часть посвящена системе мира. Первая часть книги разделена на четырнадцать отделов, вторая — на девять, третья часть на отделы не подразделяется.

Содержание пер-
вых двух книг
«Начал».

Первый отдел первой книги озаглавлен «О методе первых и последних отношений, при помощи которого все последующее доказывается». Отдел посвящен изложению математического аппарата, его содержание было рассмотрено нами выше.

Второй отдел посвящен вопросу нахождения центростремительных сил. В первых предложениях этого раздела устанавливается связь между теоремой площадей и центральным характером силы (теоремы I, II, III). Вывод, к которому приходит Ньютон в результате доказанных предложений, сформулирован в коротком «Поучении»: «Так как равномерное описание площадей служит указателем центра, к которому направляется оказывающая наибольшее влияние на движущееся тело сила, которую оно и отклоняется от прямолинейного пути и удерживается на своей орбите, то почему бы не принять в последующем равномерное описание площадей вообще за признак центра, около которого происходит всякое круговое движение в свободном пространстве».

В четвертом предложении выводится выражение для центростремительной силы, найденное впервые Гюйгенсом, как указывает и Ньютон в «Поучении» к этому предложению. В последующих предложениях даются вспомогательные формулы для расчета центростремительных сил.

Третий отдел первой книги посвящен выводу закона центростремительной силы из законов Кеплера. Здесь устанавливается, что движение тела по коническому сечению: эллипсу, гиперболе, параболе — поддерживается силой, направленной к фокусу и обратно пропорциональной квадрату расстояния от этого фокуса. Доказывается, что этот же закон силы приводит и к третьему закону Кеплера. В последнем предложении отдела указывается способ определения орбиты тела, находящегося под действием центростремительной силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния от центра сил, и выходящего из заданного положения с заданной скоростью. В зависимости от величины скорости орбита тела будет эллипсом, параболой или гиперболой. В следствиях указываются методы учета действия возмущающих сил.

Четвертый и пятый отделы посвящены чисто геометрическим вопросам определения орбит по известным данным. Отдел VI озаглавлен «Об определении движения по заданным орбитам» и посвящен вопросу нахождения уравнения движения тела, движущегося по заданной орбите: параболической и эллиптической.

Седьмой отдел посвящен исследованию прямолинейного движения тела, подверженного действию центральной силы. Здесь Ньютон чисто геометрическим путем решает задачу об определении движения тела, притягиваемого или отталкиваемого силовым центром, если начальная скорость его направлена к центру. Заключительное предложение этого отдела формулировано в виде следующей задачи:

Предложение XXXIX. Задача XXVII.

«Предполагая центростремительную силу какою угодно и допуская квадратуру кривых, требуется определить как скорость движущегося прямо к центру или от центра тела в любой точке, так и время, в течение которого оно приходит в какое-либо место и обратно».

Чтобы дать представление о геометрическом методе Ньютона, приведем найденное им решение задачи.

«Из какой-либо заданной точки A прямой $ADEC$ падает тело E . Из всякой точки E его пути (рис. 13) восставляется перпендикуляр EG , по коему откладывается длина EG , пропорциональная величине центростремительной силы, действующей в этой точке E и направленной к центру C ; пусть кривая BFG проходит через места точек G , причем в начале движения EG совпадает с перпендикуляром AB ; тогда скорость в какой угодно точке E будет пропорциональна стороне квадрата, равномерного с криволинейною площадью $ABGE$.

Беря на прямой EG длину EM , обратно пропорциональную стороне сказанного квадрата, строится

кривая, на которой постоянно лежит точка M . Эта кривая будет иметь прямую AB своей асимптотой. Время, в течение которого падающее тело проходит путь AE , будет пропорционально площади $ABTVME$ ».

Поясним решение. Пусть начальная скорость тела равна нулю, начальное расстояние от центра ACx_0 . Массу тела примем за единицу. Тогда для любого момента времени имеем:

$$\frac{dv}{dt} = f(x).$$

На чертеже $x = AE$, $f(x) = EG$, $\frac{1}{v} = EM$. В начальный момент времени $t = 0$, $v = 0$, $x = x_0 = AC$, $f(x_0) = AB$.

Имеем:

$$\frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} = f(x),$$

или

$$v \frac{dv}{dx} = f(x);$$

$$\frac{1}{2} d(v^2) = f(x) dx; \quad v^2 = 2 \int_0^x f(x) dx \sim ABGE.$$

Этим и доказывается первая часть найденного Ньютоном решения. Таким образом, предложение Ньютона представляет собой не что иное, как теорему живых сил для прямолинейного центрального движения. Далее:

$$v = \sqrt{2 \int_0^x f(x) dx} = F(x)$$

$$\frac{dx}{dt} = F(x); \quad dt = \frac{dx}{F(x)}; \quad t = \int_0^v \frac{dx}{v}.$$

Этим доказывается вторая часть найденного Ньютоном решения. Ньютон, следовательно, впервые находит теорему живых сил и впервые представляет работу площадью. Ему же принадлежит применение этой теоремы к нахождению закона движения (первый интеграл уравнений движения). Этот результат Ньютон обобщает в следующем, восьмом отделе «Начал» на случай любого закона центральных сил и любой начальной скорости. Предложение X теорема XIII «Начал» выражает найденную Ньютоном консервативность поля центральных сил:

Предложение X. Теорема XIII.

«Если тело под действием какой угодно центростремительной силы движется как бы то ни было, другое же тело

движется прямолинейно, прямо к центру или от центра, и скорости обоих тел в некотором их положении, в котором они равно удалены от центра сил, равны, то эти скорости будут равны и во всяких других положениях обоих тел, равно удаленных от центра».

В самом деле, теорема живых сил дает:

$$\frac{1}{2}(v^2 - v_0^2) = \int_{r_0}^r f(r) dS \cdot \cos(d\bar{s}, \bar{r}) = \int_{r_0}^r f(r) dr.$$

Ньютон проводит доказательство геометрически, разлагая силу, действующую в какой-либо точке траектории тела на нормальную и касательную составляющие. Нормальная составляющая не меняет скорости тела по величине, «а будет лишь уклонять его от прямолинейного пути и заставлять, непрерывно отступая от касательной к орбите, описывать криволинейный путь. Вся эта сила и поглощается на производство этого действия». Отсюда видно, насколько ясно Ньютон представляет здесь понятие работы. Нормальная составляющая силы работы не производит, работа же тангенциальной силы идет на ускорение тела, причем приращения скорости оказываются зависящими только от расстояния его от центра. В следствии из этого предложения Ньютон указывает, что если «центростремительная сила пропорциональна какой-либо степени A^{n-1} , коей показатель $n-1$ есть любое число n , уменьшенное на 1, тогда при всяком расстоянии A скорость тела будет пропорциональна $\sqrt{P^{n-1} - A^n}$, где P — наибольшее расстояние тела от силового центра, «на которое может удалиться качающееся или обращающееся по какой-либо траектории тело, если бы его в какой-либо точке подбросить прямо от центра с тою скоростью, которою оно в этой точке обладает». Действительно, по теореме живых сил:

$$v^2 = 2 \int_{r_0}^r \frac{dr}{r^{n-1}} \quad (v_0 = 0, m = 1)$$

$$v^2 = \frac{2}{n} (r_0^n - r^n) = \frac{2}{n} (P^n - A^n)$$

$$v \propto \sqrt{P^n - A^n}, \text{ где } P = r_0, A = r.$$

Этой теоремой Ньютон пользуется для решения следующих задач:

Задача XXVIII.

«Предполагая центростремительную силу какою угодно и допуская квадратуру кривых, требуется найти как траекторию, по которой будет двигаться тело, так и закон его движения по найденной траектории».

Задача XXIX.

«При заданном законе центростремительной силы требуется определить движение тела, выходящего из заданного места с заданною по величине и направлению скоростью».

Девятый отдел «Начал» посвящен рассмотрению движения тела по вращающимся орбитам.

В десятом отделе, озаглавленном «О движении тел по заданным поверхностям и о колебательном движении подвешенных тел», рассматривается задача маятника. Ньютон рассматривает здесь циклоидальный маятник Гюйгенса. В заключительном предложении этого раздела рассматривается несвободное движение точки под действием центральной силы.

Одиннадцатый отдел «О движении тел, взаимно притягивающихся центростремительными силами», ставит во всей общности задачу центрального движения. Вначале изучается задача движения двух тел, в предложении же LXV формулируются условия, при которых «несколько взаимодействующих по закону обратной пропорциональности квадрату расстояния тел могут двигаться по эллипсам, описывая радиусами, проведенными к фокусу, площади, весьма близкие к пропорциональности времени». Эти условия выполняются,

когда несколько малых тел обращаются «около какого-нибудь большого в различных от него расстояниях и ... притягиваются друг к другу пропорционально своим массам». Таким образом, это предложение имеет исключительное значение для теории солнечной системы. Последующее предложение играет фундаментальную роль в теории Луны.

Предложение LXVI. Теорема XXVI.

«Если три тела притягиваются взаимно с силами, обратно пропорциональными квадратам расстояний, и оба меньших обращаются вокруг третьего наибольшего, то площади, описываемые радиусом, проводимым от среднего и ближайшего к наибольшему, будут ближе к пропорциональности временам, и его траектория ближе к эллипсу, в фокусе коего сходятся эти радиусы, когда это наибольшее тело будет двигаться под действием сказанных притяжений, нежели в том случае, когда оно, не испытывая притяжений от малых тел, оставалось бы в покое или же, будучи притягиваемо или значительно сильнее, или значительно слабее, совершало бы или гораздо большие, или гораздо меньшие движения».

В следствиях из этого предложения рассматриваются неравенства движения Луны и дается теория приливов и отливов. В целом одиннадцатый отдел «Начал» является основоположным отделом теоретической астрономии. Проблема тяготения здесь ставится во всей ее полноте. Ньютон приходит к фундаментальному выводу о «пропорциональности между центростремительными силами и массами тех центральных тел, к которым эти силы направляются». Подробнее вопрос о тяготении исследуется в разделе «Система мира».

В двенадцатом отделе «О притягательных силах сферических тел» Ньютоном закладываются основы теории потенциала. Ньютон доказывает здесь, что сферический слой не действует на внутреннюю точку, на внешнюю же — так, как если бы вся его масса была сосредоточена в центре (при условии, что элементарный закон тяготения сводится

к обратной пропорциональности квадрату расстояния взаимодействующих частиц и прямой пропорциональности произведению масс). Точно так же он устанавливает, что действие шара на внутреннюю точку пропорционально ее расстоянию от центра, и на внешнюю — обратно пропорционально квадрату расстояния от центра. Рассматриваются случаи взаимодействия шаров и способы подсчета действия шара

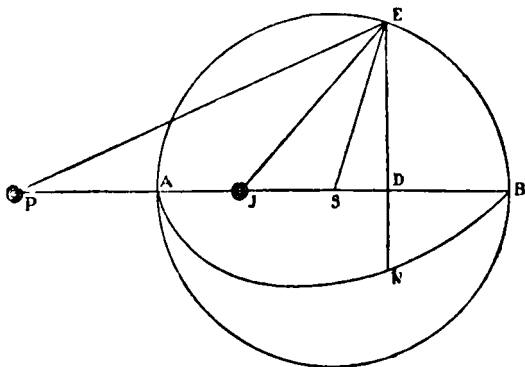


Рис. 14,

на точку. В предложении LXXXII формулируется теорема XLI, послужившая В. Томсону основой для его метода электрических изображений¹. Короче говоря, основы тео-

¹ Это предложение гласит:

«Если для шара, коего центр S и радиус SA , взять расстояния S и SP так, чтобы было:

$$SI:SA = SA:SP,$$

то отношение притяжения шаром внутренней точки I к притяжению внешней точки P равно произведению отношения $\sqrt{SI}:\sqrt{SP}$ на корень квадратный из отношения притяжений точек P и I центром шара».

Точка I по отношению к точке P (рис. 14) названа Томсоном «электрическим изображением».

рии потенциального силового поля были заложены Ньютоном в этом и последующем, тринадцатом разделе «Начал», трактующем «о притяжении тел не сферических».

Первая книга «Начал» заключается четырнадцатым отделом «О движении весьма малых тел под действием центростремительных сил, направленных к отдельным частицам весьма большого тела». Отдел этот представляет особый интерес, так как по существу он дает механическую основу ньютоновой оптики. Отдел открывается следующим предложением:

Предложение ХСIV. Теорема XLVIII.

«Если две однородные среды разделяются пространством, заключенным между двумя параллельными плоскостями, и

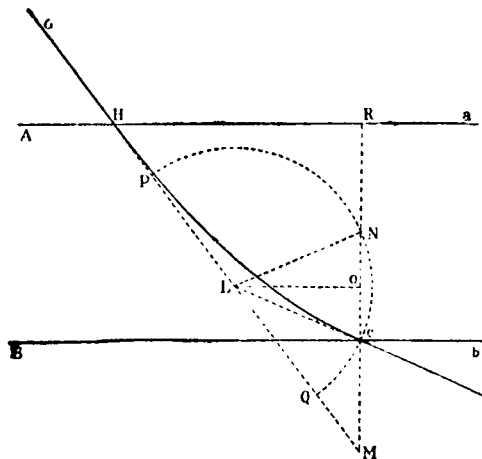


Рис. 15.

тело при переходе через это пространство притягивается или побуждается к одной из средин перпендикулярно к плоскости раздела, других же сил к нему никаких не приложено, и если при этом притяжение, при всяком расстоянии от обеих плоскостей, одно и то же и направлено в ту же сторону, то синус угла падения на первую плоскость находится в постоянном отношении к синусу угла выхода из второй» (рис. 15).

Таким образом, если обозначить скорость частицы при падении на первую плоскость через v_0 , угол падения через α_0 , скорость частицы по выходе — через v , угол выхода через α ,

то предложение Ньютона запишется в виде закона преломления:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha} = \frac{v}{v_0}.$$

Это равенство легко получить из уравнений движения частицы, если принять за ось z перпендикуляр к поверхности раздела, а за ось x линию пересечения плоскости падения с плоскостью раздела. Принимая, что сила притяжения является функцией z и действует на всем расстоянии h между граничными плоскостями, получим уравнения движения частицы:

$$x = 0; \quad z = f(z).$$

Начальные условия: при $t = 0$, $x = 0$, $z = 0$; $x_0 = v_0 \sin \alpha_0$; $z_0 = v_0 \cos \alpha$. По теореме живых сил:

$$\frac{1}{2}(v^2 - v_0^2) = \int_0^z f(z) dz.$$

При $z = hv = V$; $V_x = V \sin \alpha$, $V_z = V \cos \alpha$.

Интеграция первого уравнения дает:

$$x = V_x = \text{const} = v_0 \sin \alpha_0.$$

Отсюда и получается закон преломления. Так как

$$v^2 = v_0^2 + 2 \int_0^h f(z) dz,$$

то скорость частицы в более плотной среде *возрастает*. У Ньютона смысл постоянного отношения синусов раскрывается в предложении ХСV.

Предложение ХСV. Теорема XLIX.

«При тех же предположениях я утверждаю, что скорость частицы до падения относится к ее скорости после выхода, как синус угла выхода к синусу угла падения».

Известно, что в теории Гюйгенса отношение синусов оказывается равным *прямо* отношению скоростей, а не *обратному*, как это получается у Ньютона. Поэтому в качестве *experimentum crucis* мог бы служить опыт по измерению скоростей света в воздухе и воде. Как известно, опыт Фуко решил вопрос в пользу теории Гюйгенса.

Следующее предложение трактует о полном отражении:

Предложение ХСVI. Теорема L.

«Предполагая то же, что и ранее, и что скорость движения до падения больше скорости после такового, утверждаю, что можно настолько увеличить наклонение линии падения, что частица будет отражаться, причем угол отражения будет равен углу падения» (рис. 16).

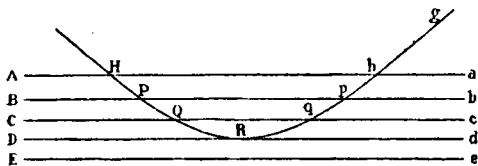


Рис. 16.

В «Поучении» Ньютон указывает, что «от изложенных выше движений частицы почти не отличается отражение и преломление света, совершающееся в постоянном отношении секансов, как это найдено Снеллиусом, следовательно, и в постоянном отношении синусов, как это изложено Декартом». Это может служить основанием для принятия корпускулярной теории света. Другим основанием может служить то обстоятельство, что скорость света, по наблюдениям Ремера, оказалась конечной, а не бесконечной, как полагал Декарт. Наконец, третьим доводом, о котором также упоминается в «Поучении», являются дифракционные явления, открытые Гримальди. «Когда... лучи находятся в воздухе..., то при проходе близ углов тел непрозрачных или прозрачных... они загигаются в сторону к телу, как бы будучи к нему притягиваемыми». Но Ньютон, переходя к изложению двух предложений, касающихся геометриче-

ской оптики, снова делает оговорку, что он не будет касаться «самой природы лучей» (телесная она или нет). Предложения оптики он будет устанавливать, «совершенно ее не обсуждая, а только находя пути тел, подобные ходу лучей». Таким образом Ньютон рассматривает корпускулярную теорию как формальную, удобную для описания световых явлений, но не претендующую на более глубокое значение.

Этим отделом и заканчивается первая книга «Начал». Если в ней трактовалось потенциальное поле в вакууме, то во второй книге рассматривается влияние среды. Это влияние прежде всего сказывается в возникновении сил сопротивления (внутреннего трения), зависящих от скорости движущегося в среде тела. Учет этого влияния производится с помощью эмпирических формул. В первом отделе принимается, что силы сопротивления пропорциональны скорости. В первых предложениях этого отдела изучается действие таких сил. Устанавливается, что изменение количества движения, вызываемое такими силами, пропорционально пройденному телом пути¹⁾ и что скорость убывает в геометрической прогрессии²⁾. Рассматриваются задачи, имеющие важное значение для баллистики, а именно: движение тела, брошенного вверх, и движение тела, брошенного под углом.

«Впрочем,— заключает Ньютон в «Поучении» к этому отделу,— предположение, что сопротивление пропорционально скорости, более математическое, нежели соответствующее природе». Более соответствующим природе будет предположение, что силы сопротивления будут пропорциональны квадрату скорости. Второй отдел и посвящен вопросу движения

1) В самом деле, если $m \frac{dv}{dt} = -\lambda v = -\frac{\lambda dv}{dt}$, то:

$$\int_{v_0}^v m dv = -\lambda \int_0^x dx; \quad m(v - v_0) = \lambda(x_0 - x).$$

2) $m \frac{dv}{dt} = -kv; \quad v = v_0 e^{-\frac{k}{m}t}$.

тел при сопротивлении, пропорциональном квадрату скорости. В этом отделе Ньютон вводит свой метод исчисления флюксий. Сложную задачу отыскания баллистической кривой Ньютон заменяет другой несколько искусственной: «отыскать закон изменения плотности среды, в которой тело двигалось бы по заданной кривой».

В третьем отделе закон сопротивления задается членом

$$f = -k_1v - k_2v^2,$$

и даются геометрические приемы вычисления путей, проходимых телом, брошенным вверх.

В четвертом отделе рассматривается вопрос о круговом движении в сопротивляющейся среде. Это будет движение по спирали, пересекающей радиусы вектора под постоянным углом; при этом центростремительная сила принимается пропорционально n -й степени плотности, плотность среды обратно пропорциональна расстоянию от центра, сопротивление пропорционально плотности.

Пятый отдел посвящен гидростатике. Вначале дается определение жидкости:

«Жидкость есть такое тело, коего части уступают всякой как бы то ни было приложенной силе и, уступая, свободно движутся друг относительно друга». Отсюда выводится равномерное распределение давлений (в невесомой жидкости) и вычисляется давление на дно, производимое тяжелой жидкостью. В предложении XXI теореме XVI устанавливается закон распределения плотностей жидкости, находящейся в поле центростремительных сил, обратно пропорциональных квадрату расстояния. При этом жидкость подчиняется закону Бойля-Мариотта: плотность пропорциональна давлению. Частным случаем найденного Ньютоном распределения будет барометрическая формула, впервые полученная Галлеем. В заключительном предложении отдела Ньютон исследует закон взаимодействия частиц, образующих жидкость, подчиняющуюся закону Бойля. В предложении устанавливается, что плотность жидкости будет пропорциональ-

на давлению, если частичные отталкивательные силы обратно пропорциональны расстоянию между частицами. Эти силы, подобно магнитным силам, действуют на очень малое расстояние, на более же отдаленные частицы не оказывают никакого влияния. Здесь мы имеем интересную попытку Ньютона вывести из молекулярно-атомной гипотезы закон Бойля¹⁾). Такая проблема для Ньютона не случайна. Мы увидим далее, что она целиком и полностью вытекает из его натурфилософских концепций. Но, как и всюду в «Началах», Ньютон стремится избежать категорических суждений и заключает раздел о жидкостях таким характерным замечанием: «Состоят ли жидкости из взаимно отталкивающихся частиц — есть вопрос физический. Мы доказали математические свойства жидкостей, состоящих из таких частиц, и предоставляем физикам повод исследовать этот вопрос».

Шестой отдел посвящен изучению затухающих колебаний маятников в сопротивляющейся среде. Этот вопрос Ньютон исследовал весьма тщательно, проделывая опыты над изучением качания маятников в сопротивляющейся среде, справедливо полагая, что подобные исследования дают материал для характеристики сопротивления среды. Кроме того, опыты с маятниками дают возможность исследовать весьма точно вопрос о пропорциональности массы и веса. Сопротивление среды интересовало Ньютона и как важная практическая проблема (наилучшая форма обтекаемости судов) и как проблема, имеющая крупное философское значение в связи с гипотезой эфира. Любопытна в связи с этим попытка Ньютона сравнить сопротивление воздуха с сопротивлением эфира. Сопротивление воздуха действует на наружную поверхность тела, эфир же, проникая в поры между частицами тел, должен вызывать и внутреннее сопротивление. «Поэтому я произвел испытания, чтобы определить, сосредоточено ли полностью сопротивление, испытываемое

¹⁾ Правда, не из кинетических соображений. Эта задача решается им как статическая.

телями при движении, на их наружной поверхности, или же и внутренние части тел претерпевают заметное сопротивление». Ньютон измерял сопротивление порожней еловой кадочки, качающейся на нити в 11 футов длиной, и сопротивление той же кадочки, заполненной металлом. Он пришел к заключению, что сопротивление на наружную поверхность в 5 тысяч с лишним раз больше сопротивления на внутренние частицы.

В седьмом отделе «О движении жидкостей и сопротивлении брошенных тел» рассматривается механизм сопротивления и влияние формы тела на сопротивление, испытываемое им при движении в жидкости. Здесь, следовательно, Ньютон ставит важные и трудные вопросы гидродинамики вязкой жидкости, для решения которых еще не было в его время достаточных экспериментальных данных и необходимых математических средств. Но гений Ньютона и здесь наметил пути решения поставленных задач. Он начинает раздел с формулировки теоремы о подобии, а известно, какое огромное значение имеет теория подобия в современной гидро- и аэродинамике. Переходя к вопросу о влиянии размеров, скоростей тел и плотностей сред, Ньютон исходит из гипотезы о механизме сопротивления. По Ньютону, «сопротивление происходит частью от центробежных и центростремительных сил взаимодействия между частицами, частью от ударов частиц о большие части систем и отражений от них. Сопротивления первого рода будут пропорциональны квадратам скоростей, квадратам сходственных размерений и плотностям частей систем». «Сопротивления второго рода пропорциональны числу и силе соответствующих ударов и отражений». В результате оказывается, «что сопротивления, испытываемые соответствующими частями систем, относятся между собой, как произведения квадратов скоростей на квадраты линейных размерений и на плотности частей». Изучая влияние формы тела на сопротивление и установив, что сопротивление шара, при равных диаметрах и скоростях, вдвое меньше сопротивления цилиндра, Ньютон ставит задачу нахождения наиболее обтекаемой формы, подходя к вариационным

проблемам. Не останавливаясь на ошибочной теории Ньютона истечения жидкости из отверстия в дне сосуда, укажем, что последние предложения этого раздела посвящены изучению движения шара в вязкой жидкости. Этот вопрос интересовал Ньютона постольку, поскольку он давал возможность экспериментального исследования вязкостей жидкости по временам падения шаров. В результате своих исследований Ньютон приходит к выводу, что гипотеза эфира несовместима с движением планет.

«Небесные пространства, через которые планетные и кометные шары повсюду непрестанно движутся совершенно свободно и без всякого заметного уменьшения своего количества движения, совершенно лишены какой-либо телесной жидкости, за исключением, может быть, чрезвычайно тонких паров и пронизывающих эти пространства световых лучей».

Восьмой отдел посвящен изучению волнового движения в жидкой среде. Прежде всего Ньютон устанавливает, что движение в жидкости может передаваться и не по прямой линии:

Предложение XLI. Теорема XXXII.

«Давление не распространяется через жидкость прямолинейно, если только частицы жидкости не лежат на одной прямой».

Предложение XLII. Теорема XXXIII.

«Всякое движение, распространяющееся через жидкость, отклоняется от прямого пути в области, занятые неподвижной жидкостью».

Далее Ньютон изучает волны, издаваемые в среде колеблющимся источником. Для водяных волн, частицы которых движутся по круговым путям, Ньютон устанавливает пропорциональность скорости распространения корню квадратному из длины волны. Рассматривая распространение гармонических колебаний в газах, Ньютон устанавливает,

что скорость распространения будет прямо пропорциональна корню квадратному из упругости среды и обратно пропорциональна корню квадратному из плотности. Предполагая справедливым для среды закон Бойля, он выводит формулу

$$c = \sqrt{\frac{P_0}{\rho_0}}$$

для скорости звука в газе.

Вычисления по этой формуле не дают правильного результата. Ньютон не нашел удовлетворительного объяснения этому расхождению, которое, как показал Лаплас, обусловлено тем, что процесс распространения волны не является изотермическим и что удовлетворительный результат получается, если принять, что сгущения и разрежения происходят адиабатически.

Последний, девятый отдел «Начал» посвящен рассмотрению вихревых движений в жидкостях. Цель этого раздела — выяснить, насколько согласуется вихревая гипотеза Декарта с законами Кеплера. Правда, у Ньютона еще не было столь важного для теории вращательного движения понятия момента количества движения, и поэтому в его расчеты вкралась ошибка, тем не менее вычисления угловых скоростей вращения частиц жидкости на различных расстояниях от вращающегося шара не приводят к третьему закону Кеплера. Ньютон показывает, что «если в однородной и беспрельной жидкости вращается равномерно около постоянной оси твердый шар и жидкость приводится в вращательное движение единственно только этим натиском и всякая ее часть продолжает сохранять свое равномерное движение, то... времена оборотов частиц жидкости будут пропорциональны квадратам их расстояний до центра шара». Расчет Ньютона основан на законе количества движения, если же заменить его законом момента количества движения, то указанная пропорциональность будет не квадратной, а кубической. «Пусть философы сами посмотрят, — заключает Ньютон, — при каком условии может быть объяснено вихрями

явление, заключающееся в существовании указанного полукубического отношения» (т. е. третьего закона Кеплера).

Далее Ньютон устанавливает, что благодаря действию центробежных сил «тела, которые при переносе вихрем описывают постоянно одну и ту же орбиту, должны обладать одинаковою с вихрем плотностью и двигаться по тому же закону, что касается скорости и ее направления, как и части самого вихря».

«Следовательно, тело, обращающееся вместе с вихрем по неизменной орбите, находится в покое по отношению к жидкости, в которой оно плавает».

«Если вихрь повсюду одинаковой плотности, то то же самое тело может обращаться на любом расстоянии от центра». А значит, планеты не могут переноситься вихрями, так как они движутся по законам Кеплера, которым не удовлетворяют части вихря. «Таким образом гипотеза вихрей совершенно противоречит астрономическим явлениям и приводит не столько к объяснению движений небесных тел, сколько к их запутыванию. Способ, которым эти движения совершаются на самом деле в свободном пространстве, можно понять по первой книге, подробнее же он рассматривается в изложении системы мира».

Таково содержание «Начал»¹. По богатству этого содержания, по глубине и напряженности мысли это произведение принадлежит к числу немногих созданий человеческого гения. Научный подвиг Ньютона был по справедливости оценен современниками. Но и потомки не переставали черпать из той сокровищницы физической мысли, какой являются «Начала». Метод Ньютона служил примером Амперу и Фарадею, Томсону и Максвеллу, Эйнштейну и Дираку. И на долгие времена идейное богатство «Начал» будет вдохновлять творческую физическую мысль.

¹) Третья книга «Начал» посвящена изложению «Системы мира». Она распадается на две части, одна из которых представляет собой интерес для характеристики натурфилософских воззрений Ньютона и будет рассмотрена нами в связи с анализом этих воззрений. Вторая же часть — астрономическая, не является темой нашего очерка.

В. Физические воззрения Ньютона.

Мы должны теперь рассмотреть вопрос о физических воззрениях Ньютона и об их влиянии на последующее развитие физической мысли. Нам неоднократно приходилось отмечать, как в ходе своих исследований Ньютон был вынужден втягиваться в дискуссию по основным натурфилософским воззрениям. Мы знаем из предыдущего изложения, что центральными моментами этих дискуссий являлись вопросы о природе света и о природе тяготения. Именно в этом пункте резко расходились две основные точки зрения: картезианская и ньютоновская.

Резюмируем существо обоих направлений. Мы уже отмечали, что картезианскую и бэконовско-ньютоновскую точку зрения объединяют общие интересы в борьбе с схоластикой Аристотеля. Мы можем теперь пойти дальше и констатировать, что их объединяет присущий им обоим *механицизм*. Когда картезианец Гюйгенс называет истинной ту философию, «в которой причину всех естественных явлений постигают при помощи соображений механического характера», то он перекликается с ньютоновским пожеланием «вывести из начал механики и все остальные явления природы». Разногласия возникают в вопросе о методе и в указанных выше натурфилософских концепциях.

Мы говорили выше о методе Декарта, в котором научная интуиция и тесно связанная с ней научная *гипотеза* играют первостепенную роль. В противоположность этому ньютоновцы выдвигают лозунг «не измышлять гипотез», и Котс в своем предисловии называет гипотетические построения картезианцев вымыслами и баснями. Эмпирико-индуктивный метод, сводящийся у крайних ньютоновцев к позиции «чистого описания», они считают единственно надежным, единственно научным.

По основным физическим воззрениям разногласия сводятся к двум пунктам: допущение или недопущение пустоты и отношение к категории силы. В физике Декарта, если исклю-

чить теологический мост, соединяющий ее с его метафизикой, нет места имматериальности: весь мир материален. Отсюда логически вытекает и отсутствие пустоты и изгнание категории силы как некоего надматериального агента, одушевляющего материю. В частности, сила тяжести не может быть каким-то изначальным свойством тел, «она, — говорит Гюйгенс, — будучи усилием или стремлением к движению, должна, по всей вероятности, производиться движением». Вот в чем гвоздь вопроса! Движение может порождаться только движением, а не какой-то посторонней нематериальной причиной.

У ньютонианцев в природе имеет место дуализм материи и пустоты. Материальные частицы являются силовыми центрами, благодаря чему они взаимодействуют друг с другом. Раскрывать природу тяготения не следует, достаточно дать формальное описание дальнедействующего притяжения. Вольтер весьма остроумно охарактеризовал разногласия картезианцев и ньютонианцев:

«Если француз приедет в Лондон, то найдет здесь большое различие в философии, так же как во многих других вещах. В Париже он оставил мир полным вещества, здесь находит его пустым. В Париже вселенная наполнена эфирными вихрями, тогда как здесь в том же пространстве действуют невидимые силы. В Париже давление Луны на море причиняет прилив и отлив, в Англии, наоборот, — море тяготеет к Луне. У картезианцев все делается через давление, что, по правде сказать, не совсем ясно; у ньютонианцев все объясняется притяжением, что, впрочем, не много яснее».

Мы уже говорили о тесной связи философских споров с религиозно-политической борьбой того времени. В Англии в соответствии с своеобразным ходом процесса распада феодальных отношений и идеологическая борьба протекала также своеобразно. От полного индифферентизма к религии, позволившего Генриху VIII беспрепятственно осуществлять свою земельную и церковную политику, до ожесточенных боев гра-

Бевтлп п Коте.

жданской войны с молитвенником и мечом, от кровавого террора католической реакции до не менее кровавой расправы с папистами в период «Славной революции» — таков ход этой борьбы. В Англии сложились условия для возникновения материализма в аристократической среде, которая считала религию и духовенство главной причиной гражданских смут. В годы реставрации материалистическое настроение аристократического общества выявилось и в насмешках над духовенством, и в учреждении Королевского общества для развития опытных наук, и в широком распространении атеизма под влиянием материалистических идей Гоббса. «Трактиры, кофейни,... даже сами церкви полны атеистов», — говорит епископ Бентли. Именно в Англии и создались условия для использования науки в целях защиты религии. Яркой иллюстрацией этого обстоятельства является завещание Бойля. Бойль в своем завещании назначил ежегодно 50 фунтов в год тому проповеднику, который произнесет 8 проповедей «в защиту христианской религии против заведомых безбожников..., не затрагивая при этом каких-либо спорных между самими христианами вопросов». Эти бойлевские лекции и начал читать Ричард Бентли — ректор колледжа Св. Троицы в Кембридже. Он поставил своей задачей защитить религиозные догматы, аргументируя не авторитетом священного писания, а «научными» доводами, и афишировал намерение опираться на «мощные томы самой видимой природы и вечные таблицы здравого разума». С этой целью он и обращается к Ньютону за материалом для утверждения, что мир не мог быть вечным и не может существовать вечно сам по себе, а необходимо должен возникнуть и поддерживаться нематериальным божественным импульсом. С этой целью он и поручил Котсу обработать «Начала» в целях удаления из них картезианского духа и материалистических гипотез. Книга Ньютона должна была, по мнению Бентли, представлять «вернейшую защиту против нападков безбожников, и нигде не найти лучшего оружия против нечестивой шайки, как в этом колчане» (из предисловия Котса). Котс и предпринял обработку «Начал»

в указанном Бентли духе. Для характеристики переделок Котса и позиции Ньютона мы должны остановиться на содержании третьей книги «Начал».

Третья книга
«Начал».

Третья книга «Начал» — это учение о системе мира. Она завершает этап героической борьбы за новое мировоззрение и по самому своему содержанию не могла стоять в стороне от «сутяжной дамы» — философии. Правда, Ньютон, чтобы, как он выразился, «те, кто, недостаточно поняв начальные положения ¹⁾), а потому совершенно не уяснив силы их следствий и не отбросив привычных им в продолжение многих лет предрассудков, не вовлекли бы дело в пререкания», постарался облечь ее в строгую математическую форму, понятную лишь немногим. Но в числе таких немногих оказались Котс и Бентли, и избежать тяжбы с «сутяжной дамой» — совершенно — Ньютону не удалось.

В первом издании Ньютон предпосылает изложению системы мира девять гипотез:

Гипотеза I. Не должно принимать в природе иных причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений».

Ибо «природа проста и не роскошествует излишними причинами».

Гипотеза II. Поэтому должно приписывать те же причины того же рода явлениям природы.

Так, например: дыханию людей и животных, падению камней в Европе и Америке, свету кухонного очага и Солнца, отражению света на Земле и на планетах.

Гипотеза III. Каждое тело может преобразовываться в тело другого какого-либо рода, проходя через все промежуточные ступени качеств.

Гипотеза IV. Центр системы мира находится в покое, это признается всеми, между тем, как одни полагают, что Солнце находится в центре, другие — что Земля.

Гипотеза V. Спутники Юпитера описывают радиусами, проведенными к его центру, площади, пропорциональные вре-

¹⁾ Механики. — П. К.

менам; времена их обращений по отношению к неподвижным звездам находятся в полукубическом отношении их расстояний до того же центра.

Гипотеза VI. Пять главных планет — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн — охватывают своими орбитами Солнце.

Гипотеза VII. Звездные времена (обращений) пяти главных планет, а также Солнца вокруг Земли или Земли вокруг Солнца находятся в полукубическом отношении их средних расстояний от Солнца.

Гипотеза VIII. Главные планеты радиусами, проведенными к Земле, описывают площади, совершенно не пропорциональные временам, радиусами же, направленными к Солнцу, пробегают площади, пропорциональные временам.

Гипотеза IX. Луна радиусом, проведенным к центру Земли, описывает площадь, пропорциональную времени.

Во втором издании, редактированном Котсом, выброшены названия гипотез для восьми из девяти приведенных. Под названием первой гипотезы сохранилась только четвертая гипотеза. Соображения, заставившие и Котса и Ньютона назвать систему Коперника гипотезой, ясны. Первые три гипотезы названы «правилами философствования», причем третья гипотеза выброшена и заменена таким правилом:

«Правило III. Такие свойства тел, которые не могут быть ни усиляемы, ни ослабляемы и которые оказываются присущими всем телам, над которыми можно производить испытания, должны быть почитаемы за свойства всех тел вообще.

Гипотезы V—IX названы «Явлениями». К ним добавлено еще предложение о спутниках Сатурна.

Наконец, ко второму изданию «Начал» Ньютон добавил «Общее поучение», содержащее знаменитое «*hypoteses non fingo*». С своей стороны Котс предпослал второму изданию уже рассмотренное нами предисловие, которое Ньютон категорически отказался просмотреть и санкционировать. Ньютон в своем коротеньком предисловии даже не упоминает имени Котса, хотя последний проделал колоссальную работу по редактированию «Начал» и внес не мало полезных

исправлений. Ньютон не мог отнестись сочувственно к самой идее использования «Начал» в качестве боевого антикартезианского и антиматериалистического оружия — этим и объясняется его поступок в отношении Котса. И самый текст «Начал», несмотря на все старания Котса, находится в резком противоречии со сделанными им в предисловии заявлениями.

Возвращения Ньютона на единство мира.

Мы уже отмечали, что в этом предисловии Котс нападает на основной тезис картезианцев об однородности материи, все явления в которой определяются простыми законами. Богатство форм и разнообразие явлений мира, по мнению Котса, не могли произойти иначе как по воле божества. Бенгли в письме к Ньютону 18 февраля 1692 г. приводит аргументы, долженствующие опровергнуть тезис Декарта, что материя по внутренней естественной необходимости должна перейти из первичного хаоса в мир, управляемый простыми законами. Этому тезису Бенгли-Котса противоречила третья гипотеза Ньютона, она и была исключена. Но эта гипотеза у Ньютона не была случайностью, Ньютон много занимался алхимией, и учение о взаимном превращении элементов органически связано со всем его мировоззрением. Мы уже отмечали, что в мемуаре 1675 г. он высказывает мысль, что, «может быть, все вещи произошли от эфира».

Ньютон возвышается до представления о всеобщей превратимости форм движущейся материи, предвосхищая результаты современной физики атомных процессов. «Не обращаются ли большие тела и свет друг в друга и не могут ли тела получать значительную часть своей активности от частиц света, входящих в их состав?» — спрашивает он в тридцатом вопросе «Оптики» и замечает, что «превращение тел в свет и света в тела *соответствует ходу природы, которая как бы услаждается превращениями*».

Атомизм Ньютона и его учение о массе и инерции.

Эта концепция Ньютона тесно связана с его атомизмом. «Бог вначале дал материи форму твердых, массивных, непроницаемых, подвижных частиц таких размеров и фигур и с такими

свойствами и пропорциями в отношении к пространству, которые более всего подходили бы к той цели, для которой он создал их...». «...Природа их должна быть постоянной, изменения телесных вещей должны проявляться только в различных разделениях и новых сочетаниях и движениях таких постоянных частиц...»¹.

Неизменная природа этих частиц прежде всего характеризуется неизменностью их массы. Масса же частиц, в духе Декарта, пропорциональна объему, материя однородна. Но «не все пространства заполнены в равной мере», и потому пустота существует. Доказательство этого важного положения Ньютон усматривает в неодинаковости удельных весов тел. А вес тела пропорционален его массе. Для ньютоновского определения массы этот закон имеет исключительное значение. «То, что качества материальных вещей не влияют на вес, установлено точнейшим образом... по равенству времен качаний маятника»². «Я произвел такое испытание, — говорит Ньютон, — для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды, пшеницы. Я изготовил две круглые деревянные кадочки, равные между собой; одну из них я заполнил деревом, в другой же я поместил такой же точно груз из золота (насколько мог точно) в центре качаний. Кадочки, подвешенные на равных нитях 11 футов длиною, образовали два маятника, совершенно одинаковых по весу, форме и сопротивлению воздуха; будучи помещены рядом, они при равных качаниях шли взад и вперед в продолжение весьма долгого времени. Следовательно, ко-

¹) «Оптика».

²) Во второй книге «Начал» (отдел VI) Ньютон устанавливает теорему XIX (предл. XXIV), дающую основание такого способа. По этой теореме массы маятников, имеющих равные длины, относятся как произведения весов на квадраты периодов. Если написать фор-

мулу маятника в виде $T_p = 2\pi \sqrt{\frac{l}{P}} m$, то отсюда легко получить

теорему Ньютона: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{P_1 T_1^2}{P_2 T_2^2}$.

личество вещества в золоте... относилось к количеству вещества в дереве, как действие движущей силы на все золото к ее действию на все дерево, т. е. как вес одного к весу другого. То же самое было и для прочих тел. Для тел одинакового веса разность количеств веществ (массы), даже меньшая одной тяжелой доли полной массы, могла бы быть с ясностью обнаружена этими опытами».

Вес не может зависеть и от формы тел. Но отсюда в конечном счете и получается, что вес тел определяется *количеством* частиц в данном теле, количеством вещества в нем. Этим фактом Ньютон и оправдывает свое определение массы (см. выше стр. 97).

Но как быть с инерцией тел? В какой связи она стоит с этой неизменной массой? Она, утверждает Ньютон, пропорциональна ей. «Я называю, — говорит Ньютон, оговорив предварительно существование пустоты, — одинаковой плотности такие тела, для коих сила инерции пропорциональна объему». А значит, инертная масса и масса гравитационная друг другу пропорциональны.

Этот вывод подводит Котса к важному пункту, а именно: тяготение (вес) является таким же существенным свойством тел, как инерция. Ньютон не разделяет этой точки зрения. В правиле III указано, какие свойства следует считать общими и простыми. К ним Ньютон относит в первую очередь протяженность, «так как это свойство присуще всем телам, доступным чувствам», далее — твердость, непроницаемость и инертность. «Протяженность, твердость, непроницаемость, подвижность и инертность целого происходят от протяженности, твердости, непроницаемости, подвижности и инерции частей, отсюда мы заключаем, что все малейшие частицы всех тел протяженны, тверды, непроницаемы, подвижны и обладают инерцией. Таково основание всей физики». Далее, говоря о тяготении, Ньютон приходит к выводу, что, хотя тяготение присуще всем телам, однако «я отнюдь не утверждаю, что тяготение существенно для тел. Под врожденной силою я разумею единственно только силу инерции. Она

Существенные
свойства частиц.

неизменна. Тяжесть при удалении от Земли уменьшается», Свойства частиц материи, объявленные в физике Ньютона существенными и общими свойствами, **Сила и тяготение.** не наделяют материю самодвижением, активностью. «*Vis inertiae* (сила инерции) есть пассивный принцип, посредством которого тела пребывают в их движении или покое, получают движение, пропорциональное приложенной к ним силе, и сопротивляются настолько же, насколько сами встречают сопротивление. По одному этому принципу в мире еще не могло бы произойти движение. Был необходим некоторый иной принцип, чтобы привести тела в движение, и, раз они находятся в движении, требуется еще один принцип для сохранения движения»¹. Так представление о косной материи, неспособной к движению и изменению, приводит с необходимостью к идее знаменитого «первого толчка», к теологии. В этом пункте Ньютон солидаризируется с Бентли, утверждающим также необходимость первого толчка. Но Бентли настаивает дальше на том, что должно существовать активное надматериальное начало, одушевляющее материю, к каковому он причисляет и тяготение на расстоянии. Ньютон такого категорического ответа не дает и вопрос об активных силах считает подлежащим физическому исследованию.

«Мне кажется далее, что эти частицы имеют не только *vis inertiae*, сопровождаемую теми пассивными законами движения, которые естественно получаются от этой силы, но также, что они движутся некоторыми активными началами, каково начало тяготения и начало, вызывающее брожение и сцепление тел. Я не рассматриваю эти начала как таинственные качества, предположительно вытекающие из особых форм вещей, но как общие законы природы, посредством которых образовались самые вещи; истина их ясна нам из явлений, *хотя причины до сих пор не открыты*. Ибо это явные качества, и только причины их тайны». Это не скрытые качества Аристотеля. Это общие, пока что только фор-

¹) «Оптика».

мальные, принципы явлений. «...вывести два или три общих начала движения из явлений и после этого изложить, каким образом свойства и действия всех телесных вещей вытекают из этих явных начал, — было бы очень важным шагом в философии, хотя бы причины этих начал и не были еще открыты. Поэтому я, не сомневаясь, предлагаю принципы движения, указанные выше, имеющие весьма общее значение, и *оставляю причины их для дальнейшего исследования*».

Ясно отличие позиции Ньютона от позиции Бентли-Котса. Последние накладывают категорическое табу на исследование принципов движения. Существует иррациональное, непознаваемое тяготение, раскрыть природу которого научными методами нельзя. Надо только описывать, как совершаются явления по этим началам, и преклоняться перед мудростью творца. Ньютон видел трудности, связанные с последовательным проведением картезианской программы, и поэтому не считал возможным исключить пока силы как формальные причины. Но формальный математический характер этих причин он не уставал подчеркивать. «Под словом «притяжение», — говорит он в поучении к отделу XI «Начал», — я разумею вообще какое бы то ни было стремление тел к взаимному сближению, происходит ли это стремление от действия самих тел, которые или стараются приблизиться друг к другу, или которые приводят друг друга в движение посредством испускаемого эфира, или это стремление вызывается эфиром или воздухом, или вообще какою-либо средою, материальною или нематериальною¹⁾, заставляющей погруженные в нее тела приводить друг друга в движение. В этом же смысле я употребляю и слово «натиск», или «напор», исследуя в этом сочинении не виды сил и физические свойства их, а лишь их величины и математические соотношения между ними, как объяснено в определениях. Математическому исследованию подлежат величины сил и те соотношения, которые следуют из произвольно поставленных условий. Затем, обращаясь

¹⁾ О содержании, вкладываемом Ньютоном в понятие «нематериальной средой», см. ниже.

к физике, надо эти выводы сопоставить с совершающимися явлениями, чтобы распознать, какие же условия относительно сил соответствуют отдельным видам обладающих притягательной способностью тел. После того как это сделано, можно будет с большею уверенностью рассуждать о родах сил, их причинах и физических между ними соотношениях».

«До сих пор я изъяснил небесные явления и приливы наших морей на основании силы тяготения, — говорит он в знаменитом «Общем поучении», заключающем третью книгу «Начал», — *но я не указывал причины самого тяготения*. «Причину... я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю».

Эфир и молекулярная физика. Следовательно, Ньютон оставляет вопрос о природе тяготения открытым, ввиду недостаточности фактического материала. Но он совершенно не склонен ипостазировать действие на расстоянии, как это сделали ньютонианцы. Именно в этом духе он и отвечает на письмо Бентли. Вот этот знаменитый ответ Ньютона:

«Нельзя представить себе, каким образом неодоушевленное грубое вещество могло бы — без посредства чего-либо постороннего, которое нематериально, — действовать на другое вещество иначе, как при взаимном прикосновении. А так должно бы быть, если бы тяготение было, в смысле Эпикура, присуще материи. Допустить, что тяготение врожденно материи, присуще ей так, что одно тело должно действовать на расстоянии через вакуум на другое без посредства чего-либо постороннего, помощью которого действие и сила от одного тела проводится к другому, есть для меня такая нелепость, что, полагаю, в нее не впадет ни один человек, способный к мышлению о философских вещах. Тяготение должно причиняться некоторым деятелем, действующим согласно определенным законам. Какой это деятель — материальный или нематериальный, — я предоставил размышлению читателя».

Для Ньютона было ясно отличие этого деятеля от обычной материи, и в этом смысле он может быть назван нематериальным. Но он должен *существовать и действовать по*

определенным законам, и потому он материален в философском смысле. Это может быть тончайший эфир, о котором Ньютон говорит в заключительном абзаце «Начал»:

«Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниям этого эфира от внешних органов чувств мозгу от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими законы действия этого эфира были бы точно определены и показаны».

Так Ньютон заключает «Начала» наброском картезианской картины мирового эфира, обуславливающего все взаимодействия тел, включая и жизненные проявления. Грандиозность этой программы особенно ощутительна по сравнению с ничтожным запасом фактических сведений о взаимодействиях частиц. «Я не знаю, что такое этот эфир», — восклицает в отчаянии Ньютон в «Оптике». Поэтому параллельно этой грандиозной программе он развертывает программу, основанную на формальном допущении элементарного дальнего действия между частицами, предвосхищая с удивительной прозорливостью выводы современной молекулярно-атомной теории. Эта программа сформулирована им в XXXI вопросе «Оптики».

«Не обладают ли малые частицы тел определенными возможностями, способностями или силами, при посредстве коих они действуют на расстоянии не только на лучи света при отражении, преломлении и огибании их, но также друг на друга, производя при этом значительную часть явлений природы? Ибо хорошо известно, что тела действуют друг на друга при помощи притяжений тяготения, магнетизма и электричества; эти примеры показывают тенденцию и ход при-

роды и делают вероятным существование других притягательных сил, кроме этих. Ибо природа весьма согласна и подобна в себе самой»¹⁾. «Я не разбираю здесь, каким образом эти притяжения могут осуществляться. То, что я называю притяжением, может происходить посредством импульса или какими-нибудь другими способами, мне неизвестными»²⁾. Я применяю здесь это слово для того, чтобы только вообще обозначить некоторую силу, благодаря которой тела стремятся друг к другу, какова бы ни была причина. Ибо мы должны изучить по явлениям природы, какие тела притягиваются и каковы законы и свойства притяжения, прежде чем исследовать причину, благодаря которой притяжение происходит. Притяжения тяготения, магнетизма и электричества простираются на весьма заметные расстояния и, таким образом, наблюдались просто глазами, *но могут существовать и другие притяжения, простирающиеся на столь малые расстояния, которые до сих пор ускользают от наблюдения, и может быть, электрическое притяжение распространяется на такие малые расстояния и без возбуждения трением»*.

Эта замечательная гипотеза междучастичных сил не является у Ньютона спекулятивной догадкой, он апеллирует к химическим фактам, к явлениям растворения сцепления частиц, капиллярности. Сцепляясь молекулярными силами в тела, частицы, в зависимости от характера взаимодействий, определяют и физические свойства тела. Элементарные взаимодействия имеют полярный характер притягательных и отталкивательных, которые могут переходить друг в друга.

«Поскольку металлы, растворенные в кислотах, притягивают небольшое количество кислоты, постольку их притягательная сила может простираться на малое расстояние от них. И так же как в алгебре, там, где исчезают и прекращаются

¹⁾ Этот тезис, утверждающий единство материального мира, Ньютон высказывает неоднократно. Он органически связан с «Правилom 1» о простоте в природе.

²⁾ Ньютон снова настаивает на временном, относительном, формальном характере вводимых ими сил дальнего действия.

положительные количества, начинаются отрицательные, так и в механике, — там, где прекращается притяжение, должна заступать отталкивательная способность».

Эту мысль впоследствии развивает Боскович, а еще позднее она воплотится в молекулярной физике твердых тел. Характерно, что Ньютон, размышляя о свойствах исландского шпата, приходит к основной идее физики твердого тела — идее кристаллической решетки. «Частицы исландского кристалла действуют на лучи все в одном направлении, вызывая необыкновенное преломление; поэтому нельзя ли предположить, что при образовании этого кристалла частицы не только установились в строй и в ряды, застывая в правильных фигурах, но также посредством некоторой полярной способности повернули свои одинаковые стороны в одинаковом направлении».

Замечательный очерк молекулярной теории вещества, набросанный здесь Ньютоном, дополняется включением в эту картину и «Оптики». «Все тела, повидимому, составлены из твердых частиц. Даже лучи света, повидимому, твердые тела, ибо иначе они не удерживали бы различных свойств по различным сторонам». Если добавить к этому сочувственное отношение Ньютона к идее Кеплера об отталкивании лучами Солнца кометных хвостов, идею, которую так замечательно обосновал Лебедев в классических работах по давлению света, и его воззрения на теплоту («теплота есть колебание частиц друг около друга»), то перед нами встает во весь рост фигура мастера широких гипотетических построений, не уступающих по широте замысла построениям Декарта, но обоснованных физически глубже и продуманнее, чем картезианские. Мастерство Ньютона в построении гипотез видно из оптического мемуара 1675 г., где он излагает разобранную нами выше синтетическую корпускулярно-волновую теорию света, и в его попытке объяснить цвета тел и голубой цвет неба; исходя из наблюдений цветов тонких пластинок. И все же остается фактом крайне осторожное отношение Ньютона к гипотезам, неустанное подчеркивание своего индуктивно-эмпирического

Метод Ньютона в
его отношении к
гипотезам.

метода, превознесенного ньютонианцами и приведшего к возникновению феноменологической ньютонианской физики. В чем причины этого обстоятельства? Их, на наш взгляд, следует искать прежде всего в особенностях ньютоновского периода естествознания и затем в личности самого автора «Начал».

В самом деле, был ли фактический материал, накопленный естествознанием ко времени Ньютона, достаточным для широких синтетических построений? Нет, конечно. При изучении механического движения надо было прежде всего решить основную аналитическую задачу: *что* относится к самому движущемуся телу и *что* относится к воздействующему на него другому телу. Приняться за исследование механизма взаимодействия тел (молекулярная теория удара, давление, теория тяготения), означало уйти в область спекуляции и затормозить дело изучения движения. Ньютон и решил пойти по единственно надежному пути для того времени — пути индукции.

Мог ли Ньютон ограничиться домыслами о природе света при скудных фактических сведениях о явлениях физической оптики? Нет, Ньютон предпочел покинуть область спекулятивных гипотез и исследовать свойства света экспериментально, чтобы придти к надежным принципам. При младенческом состоянии экспериментальной оптики того времени, когда Ньютону приходилось вырабатывать методiku оптического эксперимента, путь Ньютона был единственно правильным и прогрессивным. Прежде чем придти к широким синтетическим обобщениям, надо было пройти путь анализа и индукции.

«Как в математике, так и в натуральной философии исследование трудных предметов методом анализа всегда должно предшествовать методу соединения. Такой анализ состоит в производстве опытов и наблюдений, извлечении общих заключений из них посредством индукции и недопущении иных возражений против заключений, кроме полученных из опыта или других достоверных истин. Ибо гипотезы не должны рассматриваться в экспериментальной философии. И хотя аргументация на основании опытов и наблюдений посредст-

вом индукции не является доказательством общих заключений, однако это лучший путь аргументации, допускаемый природой вещей, и может считаться тем более сильным, чем общее индукция. Если нет исключения в явлениях, заключение может объявляться общим. Но если когда-нибудь после будет найдено исключение из опытов, то заключение должно высказываться с указанием найденных исключений. Путем такого анализа мы можем переходить от соединений к ингредиентам, от движений к силам, их производящим, и вообще от действий к их признакам, от частных причин к более общим, пока аргумент не закончится наиболее общей причиной. Таков метод анализа, синтез же предполагает причины открытыми и установленными в качестве принципов; он состоит в объяснении при помощи принципов явлений, происходящих от них, и доказательстве объяснений».

Ньютон, как никто другой из современников, оценил справедливость замечания Бэкона о необходимости придать разуму свинец, чтобы сдерживать его полет в область отвлеченных спекуляций. Он сознавал, что фундамент естествознания заложен прочно, и сдерживал всей своей волей орлиный полет своего мощного ума. Этому была и другая причина личного характера.

Обстоятельства жизни развили у Ньютона рано привычку к самоуглублению, к нелюбви раскрываться перед другими. А потом он увидел, сколь небезопасно выступать с философскими высказываниями в его бурное и опасное время. Отсюда и его осторожность в опубликовании своих открытий. Открыв до 1665 г. свой метод разложения в ряды, основанный на обобщенной формуле бинома, и метод флюксий, он хранил его в тайне до конца 1668 г., когда появилась «Логарифмотехника» Меркатора, где последний дал пример квадратуры гиперболы методом разложения в бесконечный ряд. Только тогда Ньютон ознакомил Барроу, а затем и Коллинса со своим открытием.

Более одиннадцати лет работал он над проблемой тяготения и только в 1686 г. показал Галлею, при запросе его, рукопись своей «теории движения», содержащей первые две части

«Начал»; его «Оптика» вышла в свет только в 1704 г. Мы уже приводили выдержки из писем Ньютона, характеризующие его отношение к философским дискуссиям.

И еще одно обстоятельство — религиозность Ньютона. Ньютон очень хорошо понимал последовательно материалистический дух физики Декарта, в которой бог является случайным и ненужным по существу придатком. Этим можно объяснить нерасположение Ньютона к Декарту, доходящее до прямой несправедливости в отношении последнего¹⁾. Ньютон боялся развигать свои обобщения до прямых материалистических выводов и не препятствовал своим последователям делать из его теории крайние идеалистические выводы. Он любил теории и с каким наслаждением и остроумием он придумывает в вопросах «Оптики» разнообразные гипотетические построения. Он возвышался — и мы уже приводили примеры этого — до выводов, выходящих из круга метафизических представлений тогдашней натурфилософии. Муж его племянницы Кондуит приводит характерный разговор с ним Ньютона в 1725 г. о комете 1680 г. В этом разговоре Ньютон развивает мысль о возможности революционных катастроф во вселенной. На вопрос Кондуита, исчезнет ли жизнь во вселенной навсегда, Ньютон отвечает, что она может возродиться, так как на других планетах могут быть условия, подходящие к земным. Так автор «Толкований на книгу пророка Даниила и апокалипсиса Иоанна» высказывал мысли, близкие к аналогичным высказываниям Энгельса.

Но дух ньютоновской физики, в силу указанных причин, не мог быть иным, как механистическим и метафизическим. Программа и метод Ньютона, с таким успехом примененные им в механике, стали применяться и в других областях физики. На очередь стала проблема электричества и магнетизма и теплоты. Следуя ньютоновской программе, стремились индуктивно-эмпирическим путем вывести принципы, управля-

¹⁾ Например, Ньютон полагает автором теории радуги Демириса, сведя роль Декарта к исправлениям теории Демириса.

ющие этими явлениями. При этом были основательно забыты указания Ньютона на относительный, условный характер формального описания, были забыты и «Вопросы» его «Оптики». С какой нескрываемой иронией говорит Эйлер в «Письмах к немецкой принцессе» о повальном увлечении эмпиризмом в электричестве при полном забвении теоретического анализа явлений. XVIII век после краткой борьбы картезианской и ньютоновской физики принес победу последней. Одним из отрицательных результатов этого обстоятельства был застой в оптике, столь неожиданный после пышного расцвета ее в эпоху Ньютона. Попытки Ломоносова и Эйлера возродить волновую теорию света не встретили сочувственного отклика в научном мире. Дух формализма привел к появлению невесомых субстанций: теплорода, флогистона, электрических и магнитных жидкостей разных сортов. Все эти субстанции были не связаны между собой и сожительствоваали в телах, как случайные жильцы в гостинице.

Положительной стороной этого процесса было успешное развитие математических методов в естествознании, завершившееся «Аналитической механикой» Лагранжа и установлением эмпирических законов электричества, магнетизма и теплоты. Но в XIX веке обнаружилась несостоятельность последовательного проведения ньютоновской программы в электромагнетизме и теплоте. Ампер дал блестящий образец применения ньютоновских методов к *одному классу* электромагнитных явлений: электродинамическим взаимодействиям. Фурье дал не менее блестящий образец формального описания явлений теплопроводности. Но попытки построить синтетическую теорию электромагнитных явлений на базе элементарных законов дальнего действия потерпели крах. Несостоятельными оказались попытки спасти теорию тепловой субстанции. А в оптике замечательные исследования Френеля и опыты Фуко уже обеспечили торжество гюйгенсовской концепции. Во второй половине XIX века начала возрождаться картезианская физика на базе открытого Декартом теоретически закона сохранения энергии. Успехи новых идей в естествознании возродили надежду на

последовательное проведение картезианской программы: построить механическую картину мира.

Этим мечтаниям не суждено было сбыться. Крах механистической волновой оптики и замена ее электромагнитной теорией света, с одной стороны, открытие электрических свойств материи—с другой, привели к мысли о воссоздании единой картины мира на иной, не механической, а электромагнитной основе. Но естествознание жестоко мстило за ограниченность и односторонность унаследованного без изменений от Ньютона и Декарта теоретического мышления естествоиспытателей. Диалектика природы властно предьявляла свои права и не желала укладываться в Прокрустово ложе старой метафизики. В муках затяжных кризисов физической мысли новая физика стала рождать диалектический материализм.

Процесс родов оказался затяжным и мучительным. Освоение новых теоретических идей давалось естествоиспытателям с трудом. Возродилась на новой основе ситуация XVII века: накопился огромный круг проблем, требующих неотложного разрешения, на узкой фактической базе. Физика наших дней вторглась в совершенно новую область, в неисследованный мир атома. Перед ней встали огромные задачи, решать которые предстояло при весьма ограниченных фактических сведениях. Приходилось продвигаться ощупью. Великая тень Ньютона встала перед взорами современных физиков. Следуя ему, они проложили путь в неизведанные области природы. Следуя его указаниям об ограниченности и относительности индуктивного метода, возвысившись до полного овладения методом диалектического материализма, они обеспечат невиданный прогресс науки и техники.

Цена 1 р. 10 к.



33

11