

33
H94

**АКАДЕМИЯ НАУК
СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК**

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ ЗНАНИЙ. I.

НЬЮТОН

1727 — 1927

Библиотека БДУ 38881

**ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
ЛЕНИНГРАД 1927**

NEWTON

1727—1927

53
H94+

Депозитарий

АКАДЕМИЯ НАУК
СОЮЗА СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК

ОЧЕРКИ ПО ИСТОРИИ ЗНАНИЙ. I.

Крем. 1965

НЬЮТОН

1727 — 1927



РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
ЛЕНИНГРАД 1927

ПРОВЕРЕНО
1963 г.

1/395489
Проверено

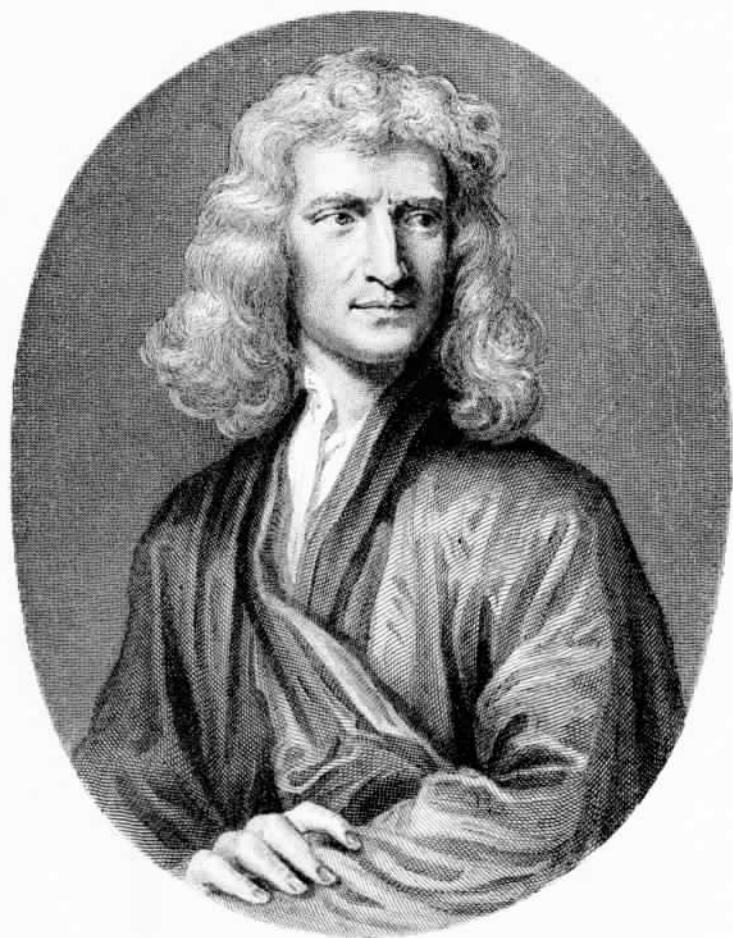
Напечатано по распоряжению Академии Наук СССР
Апрель 1927 г.

Непрерывный Секретарь академик С. Ольденбург

Тит. л. + 2 исп. + 73 стр. + 2 отд. табл.

Ленинградский Гублит № 36626 — 4 $\frac{1}{8}$ печ. л. — Тираж 1000

Государственная Академическая Типография. В. О., 9 линия, 12



Is. Newton
"hypotheses non fingo"

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Некоторые даты жизни Ньютона	1
А. А. Белополюский. К двухсотлетию со дня кончины Исаака Ньютона	3
А. Н. Крылов. „Начала“ Ньютона	11
П. П. Лазарев. Оптические работы Ньютона	46
А. А. Иванов. Значение открытого Ньютоном закона всемирного тяготения для астрономии	54

Два портрета

Статьи А. А. Белополюского, П. П. Лазарева и А. А. Иванова являются изложением докладов, читанных авторами 20 марта 1927 года в торжественном заседании Академии Наук СССР в память двухсотлетия дня кончины Ньютона.

НЕКОТОРЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ НЬЮТОНА¹

- 1642 Декабря 25-го Исаак Ньютон родился в Woolsthorpe близ Grantham в Линкольншире.
- 1655 Отправлен в школу в Грантаме.
- 1656 Взят из школы для занятий сельским хозяйством, но продолжает заниматься науками
- 1660 и потому возвращен в школу.
- 1661 Принят в Trinity College в Кембридже.
- 1664 Первые наблюдения над Луною.
- 1665 Получает степень бакалавра (BA).
- 1666 Занимается шлифовкою оптических стекол и устраивает треугольную стеклянную призму для опытов над явлениями красок. Открывает неравномерное преломление света.
- 1667 Избран младшим членом (Minor Fellow) колледжа.
- 1668 Принят старшим членом (Major Fellow). Признан магистром (MA).
- 1669 Назначен на Лукасову профессиру (Lucasian Professor) в Кембридже.
- 1671 Предложен кандидатом в Королевское Общество.
- 1672 Избран членом (fellow) Королевского Общества.
- 1685 Определяет закон всемирного тяготения.

¹ По „Synoptical view of Newton's life“ в книге „Correspondence of Sir Isaac Newton and professor Cotes“, etc. London 1850.

- 1686 Первая книга Principia представлена Королевскому Обществу.
Королевским Обществом выносятся постановления о напечатании „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“.
Издание Principia.
- 1689 Избран представителем Кембриджского Университета в Парламент, созданный без королевского указа.
- 1696 Назначен Смотрителем Монетного Двора (Warden of the Mint).
- 1699 Избран Associé Etranger Académie Française в Париже.
Назначен Директором Монетного Двора (Master and Worker of the Mint).
- 1701 Избран членом Парламента (MP) от Кембриджского Университета.
- 1703 Избран Президентом Королевского Общества.
- 1705 Получил титул рыцаря (Knight).
- 1713 Второе издание Principia.
- 1725 Тяжелое заболевание.
- 1726 Третье издание Principia.
- 1727 Смерть 20 марта, понедельник.
-

А. А. БЕЛОПОЛЬСКИЙ

**К ДВУХСОТЛЕТИЮ СО ДНЯ КОНЧИНЫ
ИСААКА НЬЮТОНА ¹**

В 1686 году вышло в свет замечательное сочинение: „Начала натуральной философии“ Ньютона. Важность этого сочинения не скоро признана была в широких научных кругах. Но в конце XVIII и начале XIX столетий слава Ньютона достигла своего апогея после выхода в свет трудов плеяды таких выдающихся ученых, как Клеро, Лагранж, Лаплас, Леверье; он нашел в них достойных продолжателей разработки законов всемирного тяготения. К этому времени сочинение Ньютона уже характеризуется, как „величайшее произведение человеческого ума“, оно „составляет незыблемое основание механики, теоретической Астрономии и физики“. Гений Ньютона слишком велик, чтобы возможно было в кратком слове объять его. Это был, по словам Лагранжа, „не только величайший геометр, но и счастливейший“. Однако, во времена Ньютона и ближайших к нему по времени ученых мир был мал, это была по преимуществу наша крошечная солнечная система, которую стремились уложить в рамки всемирного тяготения. Вне этой системы почти ничего не было известно. Но

¹ По Ньютону, Гюльдену, Эддингтону, Хвольсону, Эйнштейну.

познание звездного мира росло, и уже после смерти Ньютона законы тяготения стали прилагаться к звездным системам, удаленным от солнца несравненно дальше, чем последняя планета нашей системы, откуда свет достигает до солнца годами (от ближайшей звезды свет доходит в четыре года), а не часами; познание возросло особенно быстро к моменту двухсотлетия со смерти Исаака Ньютона; и вселенная и „натуральная философия“ теперь стали грандиозны. Там, в пределах этой умопомрачительно грандиозной вселенной, размеры которой теперь измеряются не годами, не сотнями, а миллионами световых годов,¹ там мы до сих пор ищем приложения законов всемирного тяготения, открытых Ньютоном. Не есть ли этот прогресс выявление новой великой славы „счастливейшего геометра“?

Ньютон составляет эру научного движения мысли, этап этого движения, и, мысленно возвращаясь к этой эре, интересно сравнить некоторые основы знания тогда и теперь, охарактеризовать прогресс с того времени до настоящего, хотя бы в весьма кратких чертах.

По Ньютону все тела обладают инерцией. Все тела и составные их части взаимно притягиваются. Сущность притяжения связана с материей, с веществом.

Однако, Ньютон не утверждает, что тяготение существенно для тел. Под врожденною силою он разумеет единственно силу инерции. Она неизменна. Тела (вещество) взаимно тяготеют пропорционально количеству материи, количеству вещества в данном объеме. Это „*quantitas ma-*

¹ Пределы пространства доступные 100 д. рефлектору Обсерватории Mt. Wilson измеряются: 1.4×10^8 световых годов против 0.9×10^{11} Эйнштейновского радиуса кривизны пространства.

teriae, corpus". „Масса“ по Ньютону „есть мера количества вещества, пропорциональная его плотности и его объему“.

Самое существенное в Ньютонском пояснении вводимого им понятия „масса“, есть установление опытным путем пропорциональности между массой тела и его весом. Веса тел, равноотстоящих от центра притяжения, относятся как количество материи или как массы тел. Притягательная сила тел при равных расстояниях пропорциональна массам тел. Материя (вещество) — понятие отличное от понятия энергии. Масса неизменна, меняется вес. С другой стороны, масса есть функция силы; она измеряется ускорением, приобретаемым ею от силы, это — некоторый коэффициент в формуле, определяющей силу по ускорению. Этот коэффициент не зависит ни от состава тела, ни от физического состояния его. Это замечательное свойство поля тяготения, отличающее его от электрического и магнитного полей и поля, в котором частицы кометных хвостов приобретают отрицательное ускорение, пропорциональное атомному весу.

Тела же в то время, да и в наше время — пятьдесят лет тому назад, разделялись на твердые, жидкие и газообразные. Малейшие частицы всех тел протяженны, непроницаемы, подвижны и обладают инерцией, которая неизменна.

В настоящее время воззрения на тела значительно изменились: деление тел на твердые, жидкие и газообразные уже не существенно. Повидимому, и деление тел на кристаллические и аморфные не удержится. Непроницаемость уступила место способности взаимного проникновения — проницаемости, диффузии. В то время, как сказано, количество материи и энергия материи строго различались между собой. Оттого притяжение признавалось только

между частицами вещества, но не между частицами энергии, не между частицами вещества и частицами энергии. Заметим, однако, что Ньютон в одном месте „Оптики“ задает вопрос: „Не могут ли тела действовать на расстоянии на свет?“. Ньютон придерживался относительно света теории истечения.

Химия вещества едва зарождалась. Можно ли говорить, что разыскиваемый философский камень средних веков являлся предтечей радиоактивного вещества? При Ньюtone еще царствовал флогистон. Изучение сущности вещества тогда стояло низко, и только через двести лет в ней начинают разбираться химики, физики и астрономы. Из достижений этого рода упомянем о стремлении свести девятносто два химических элемента к двум или трем.

Новое современное изучение массы показало, что она есть функция скорости движения тела: она состоит из массы неподвижной и из энергии движения ($m + \frac{1}{2} mu^2$); она тем больше, чем больше скорость. Это значит, что на тело, находящееся в движении, должна действовать бо́льшая сила при заданном ускорении, чем на тело, находящееся в покое. Это факт, установленный опытами. Если масса перемещается в пространстве с переменной скоростью, то она переменна; поэтому правильнее приписывать массу не молекуле, а месту пространства, занимаемому ею; масса молекулы имеет определенное значение только в случае равномерного движения.

В мировом пространстве астрономы встречаются со скоростями до тысячи километров в секунду. Такие скорости, однако, не могут внести сколько-нибудь заметную поправку к Ньютоновской массе, ибо они малы по сравнению со скоростью света.

До сих пор масса и вес тел находились в строгой пропорциональности, согласно учению Ньютона. Однако, теперь известно весьма важное испытание над элементом ураном, которое указывает, что пропорциональность осуществляется и для материальной энергии. Известно, что уран заключает значительное количество радиоактивной энергии, повидимому электромагнитного свойства, которая из него понемногу выделяется. Масса этой энергии должна представлять заметную часть всей массы вещества урана. Найдено, что отношение веса к массе урана такое же, как и для других химических элементов. Отсюда следует, что радиоактивная энергия обладает весом.¹ Если масса и вес энергии находятся в том же отношении, как для вещества, то можно ожидать, что световой луч искривится подобно траектории материальной частицы в присутствии притягивающего центра. Такое влияние действительно обнаружилось из наблюдений звезд вокруг солнца во время полного затмения 1919 мая 29, причем величина отклонения получилась согласно Эйнштейновскому притяжению, которое вдвое больше Ньютоновского. Дальнейшие достижения современной физики учат, что энергия обладает массой и, обратно, всякая масса тождественна с некоторым запасом энергии, и притом очень большим.

Перейдем к рассмотрению силы взаимного притяжения масс. Притяжение познано было еще за тысячи лет: все тела тяготеют к земле, и земля равным образом тяготеет к телам. Все тела притягиваются с абсолютными силами,

¹ По Эддингтону вес световой энергии, получаемой землей ежедневно от солнца равен 160 тоннам, т.-е. около десяти тысяч пудов.

пропорциональными массе притягивающего тела. Это относится ко всякому телу в солнечной системе. Взаимодействие между ними или силу по отношению к движущемуся телу можно назвать центростремительной, по отношению к центральному телу — притягательной. Если бы мы пожелали обнаружить взаимодействие двух масс небольших размеров, то для этого потребовались бы точнейшие приборы, ибо, например, притяжение двух масс весом в 1 грамм на расстоянии сантиметра выражается дробью с восемью нулями абсолютных единиц; оно в тысячу раз меньше, например, взаимодействия двух кусков природного магнита. Ньютон не входит в рассмотрение сущности притяжения: *„Причины свойств силы тяготения я не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю“*. Он исследует, по теперешней терминологии, силу поля и напряжение поля (ускорительную силу). Его интересовала, главным образом, не масса притягивающихся тел, а закон, по которому притяжение изменяется в пространстве, ибо этим путем находится единство силы во вселенной.

В настоящее время главный интерес заключается в исследовании сущности массы, как главной сущности тяготения. Объяснить сущность притяжения за промежуток даже в двести лет еще не удалось. Более сотен теорий было предложено, но все они страдали дефектом: они не привели ни к чему и не подлежали опытной проверке. Вероятно, и те немногие из них, что еще держатся, не переживут недавнее открытие, что притяжение не только свойственно молекулам, но и энергии.

Природа притяжения весьма таинственна. Новые взгляды на эту природу внесла теория относительности. Эта теория находит, на основании геометрических принципов, налич-

ность притяжения и законы механики; она отождествляет инерцию и тяготение, и этим объясняется, почему вес всегда пропорционален инерции.

Введение понятия о четырехмерном пространстве внесло новое представление о напряжении поля и силе поля.

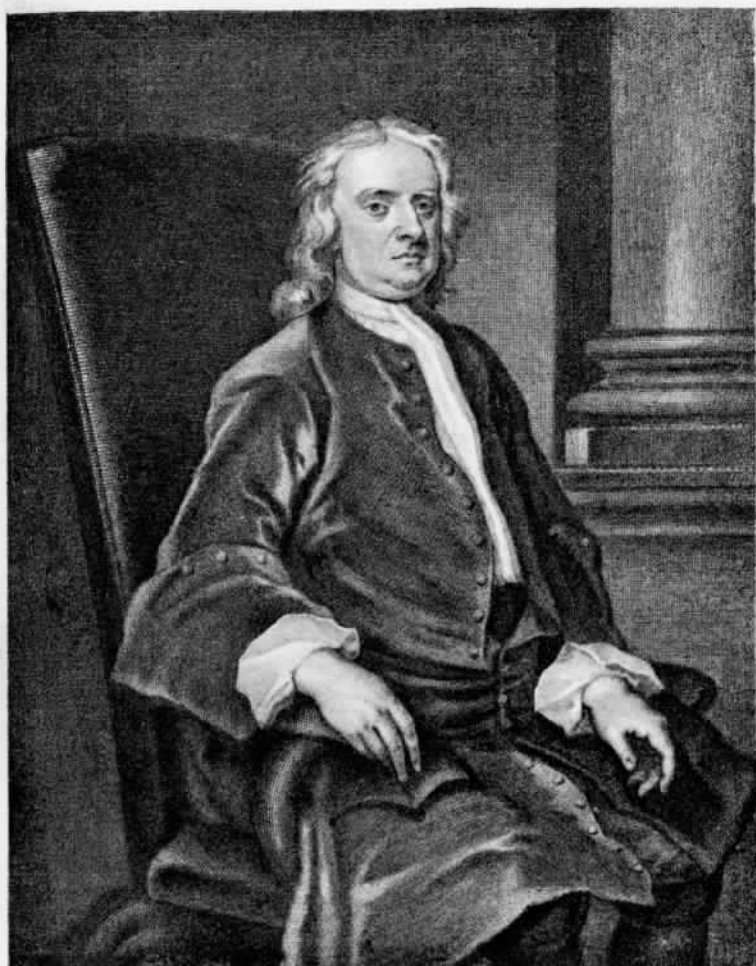
Притяжение, по этой теории, обуславливаемое тяготением, рассматривается, как следствие геометрической деформации прямого пути движения массы, будь то материя или энергия. Наблюдатель ощущает силу поля в том случае, если его путь в четырехмерном пространстве искривленный. Изменение скорости и направления движения наблюдателя могут вызвать силовое поле, которое будет эквивалентно гравитационному полю, так что в замкнутом пространстве нет возможности различить эти два поля, какие бы опыты ни производились. Как пример, можно указать на наблюдателя, помещенного в лифте: перемена скорости движения лифта вызывает ощущение увеличения или уменьшения веса. Вообще передвижение вещества с места на место изменяет гравитационное поле в окружающем пространстве.

Остается коснуться еще действия притяжения на расстоянии. Понимание этого действия служило всегда камнем преткновения. Теперь полагают, что тело вызывает в окружающем пространстве нечто физически реальное, то, что называют полем тяготения. Это поле действует на притягиваемое тело и вызывает его движение. Сила воздействия поля убывает с расстоянием по вполне определенному закону.

Мы сказали, что передвижение массы с места на другое изменяет гравитационное поле в окружающем пространстве. Если движение ускоренное, то во вне распространяется род гравитационной волны. Скорость распространения

тяготения, несмотря на многие попытки, не найдена, и в то время как одни приходили к заключению, что скорость конечна, другие склоняются к тому, что скорость неизмеримо велика (иначе она обусловила бы заметное изменение обращения планет, чего не наблюдается). В высокой степени интересно представляет ли тяготение одну из разновидностей лучистой энергии, т.-е. отражается ли, поглощается ли, интерферируется ли и т. д., или оно есть процесс *suī generis*. Повидимому, ждать решения этого важного вопроса, сущности притяжения тел, недолго: физики и астрономы вооружены сейчас тончайшими и остроумнейшими приборами, и нужно только зародиться гению, который сумел бы скомбинировать соответствующий опыт.

Может показаться, что добытые новые факты в области физики, как зависимость величины массы от скорости движения, материальность энергии, достижения в учении об относительности, могут изменить законы Ньютона. Однако это не так. Новая механика является только обобщением механики Ньютона. Новые исследования не внесут никаких реальных перемен в небесную механику; они ведут нас лишь по пути к познанию сущности притяжения и вещества, чего так хотелось самому Ньютону. Протекло двести лет, все науки сделали огромный, небывалый по величине в истории знаний шаг вперед и в то время как многие из старых теорий не только потерпели крушение, но и преданы полному забвению, законы Ньютона остались в основе незыблемыми. На этом прочном фундаменте делается надстройка, которая, не угрожая основанию, обещает вылиться в грандиозное здание, достойное своего великого основателя.



Ньютон на 83 году жизни (1725).

А. Н. КРЫЛОВ

„НАЧАЛА“ НЬЮТОНА

1395789
В МАЕ 1686 года появилось в свет то сочинение Ньютона, которое через сто лет знаменитый математик Лагранж назвал „величайшим из произведений человеческого ума“.

Это сочинение озаглавлено его автором: „Philosophiae Naturalis Principia Mathematica“, т. е. „Математические Начала Натуральной Философии“. При нашей теперешней терминологии это заглавие точнее всего передается словами: „Математические Основания Физики“, ибо таков был в то время удержавшийся и по сей час в английской научной литературе смысл термина „натуральная философия“.

Вот об этом-то сочинении я и намерен сказать несколько слов в сборнике, посвященном памяти его автора.

I

„Начала“ при жизни Ньютона были изданы три раза: первым изданием, как уже сказано, в 1686 году, вторым в 1713 и третьим в 1726. Понятно, что общая цель и назначение сочинения всего лучше могут быть постигнуты из предисловий самого автора.

— 11 —



Библиотека БДУ

В предисловии к первому изданию автор между прочим говорит: „В этом сочинении имеется в виду тщательное развитие приложений математики к физике“, т. е. к изучению явлений природы.

Так как движение есть самое простое и общее из этих явлений, то Ньютон и посвящает свое сочинение математическому изложению так называемой „рациональной механики“, причем высказывает такое определение:

„...*Рациональная Механика* есть учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений, точно изложенное и доказанное.

Древними эта часть Механики была разработана лишь в виде учения о пяти машинах, применяемых в ремеслах, причем даже тяжесть... рассматривалась ими не как сила, а лишь как грузы, движимые сказанными машинами. Мы же, рассуждая не о ремеслах, а об учении о природе и следовательно не об усилиях, производимых руками, а о силах природы, будем главным образом заниматься тем, что относится к тяжести, легкости, силе упругости, сопротивлению жидкостей и к тому подобным притягательным или напирющим силам. Поэтому и сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики, как будет видно, и состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам изъяснить остальные явления. Для этой цели предназначены общие предложения, изложенные в книгах первой и второй. В третьей же книге мы даем пример вышеупомянутого приложения, объясняя систему мира, ибо здесь из небесных явлений, при помощи предложений, доказанных в предыдущих книгах, математически

выводятся силы тяготения тел к солнцу и отдельным планетам. Затем по этим силам также при помощи математических предложений выводятся движения планет, комет, луны и моря. 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. Так как эти силы неизвестны, то до сих пор попытки философов объяснить явления природы и оставались бесплодными. Я надеюсь, однако, что или этому способу рассуждения, или другому более правильному, изложенные здесь основания доставят некоторое освещение“.

Как видно, в этих немногих словах автор наметил тот путь, по которому вот уже почти два с половиною столетия следуют „точные“ науки изучения природы, т.-е. астрономия, физика и химия в теперешнем их подразделении, составлявшие в то время единую „натуральную философию“.

Предисловия автора ко второму и третьему изданиям заключают всего по нескольку строк, в которых указываются сделанные дополнения к предыдущему изданию.

Но ко второму изданию предпослано замечательное предисловие „издателя“, известного математика Котеса, причем из сохранившейся и изданной переписки с ним Ньютона видно, что и сам Ньютон как бы руководил составлением этого предисловия.

Это предисловие в значительной мере носит полемический характер. Дело в том, что в те времена то, что теперь

называют философией (точнее ее следовало бы называть диалектической философией), имело гораздо большее значение в естественных науках, нежели теперь. Сочинение Ньютона требовало для чтения и разумения основательной математической подготовки и по сжатости изложения — упорного труда, и если излагаемые и строго доказываемые Ньютоном истины встречали происходившие от недоразумения возражения от такого философа-математика как Лейбниц, то не трудно себе представить нагромождение возражений чисто диалектических, в математическом смысле представлявших полную нелепость, которое сочинение Ньютона встретило от последователей Декартовых вихрей и вообще картезианцев того времени — философов не математиков.

Нечто подобное совершается отчасти теперь. Физик, мыслитель, может быть, величайший со времени Ньютона, издал в чрезвычайно сжатой форме учение, требующее для своего уразумения не только знания в полном современном объеме того, что называется „анализом бесконечно-малых“, но и таких частей его, которые по своей трудности ни в каких самых обширных руководствах не излагаются, а должны изучаться по специальным сочинениям; и вот это-то учение пытаются излагать в газетных фельетонах люди, сами должной подготовки не имеющие, для читателей, уже совершенно неподготовленных. Не стоит и говорить о научном достоинстве достигаемых результатов.

Теперешняя газета обыкновенно не переживает и дня своего издания, ибо на завтра она уже забыта, и из неисчислимого множества писаний о его знаменитых теориях едва ли стотысячная часть доходит до Эйнштейна, и ему

нет надобности считаться с большею частью того, что о нем пишут вкривь и вкось.

Во время Ньютона газет, можно сказать, не было; возражения и плоды непонимания его творения печатались величественной латынью в трудах академий и немногочисленных ученых обществ, превосходным шрифтом, на бумаге, сохранившей и посейчас свою свежесть, переплетались в ту неизносимую свиную кожу, в которой их можно видеть и теперь, покрытыми пылью веков, на полках академических библиотек. Но в то время эти фолианты читались, они отражали движения научной мысли, и с ними приходилось считаться. Вот эти-то счета и сводит Котес в своем предисловии. Оно настолько характерно, что мы приведем из него несколько выдержек:

„Ньютоновой философии новое, столь давно желанное издание, теперь во многом исправленное и дополненное, предьявляем тебе, благосклонный читатель. Главнейшее содержание этого знаменитейшего сочинения ты можешь усмотреть в приложенных оглавлениях, о добавлениях же и изменениях тебе указано в предисловии автора. Остается лишь кое-что присовокупить относительно самого метода этой философии.

Пытавшихся излагать физику можно вообще отнести к трем категориям. Прежде всего выделяются приписывавшие разного рода предметам специальные скрытые качества, от которых неизвестно каким образом по их мнению и должно было происходить взаимодействие отдельных тел. В этом заключалась сущность схоластических учений, берущих свое начало от *Аристотеля* и *Перипатетиков*. Они утверждали, что отдельные действия тел происходят вследствие особенностей самой их природы, в чем же эти особенности состоят, тому они не учат, следовательно, в сущности, они ничему не учат. Таким образом все сводилось к наименованию отдельных предметов, а не к самой сущности дела, и можно сказать, что ими создан философский язык, а не сама философия.

Другие, отбросив напрасное нагромождение слов, надеялись с большею пользою затратить свой труд. 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. Восходя, таким образом, от более простого к более сложному, они были бы правы, если бы они на самом деле приписали этим первичным частицам лишь те самые свойства, которыми их одарила природа, а не какие-либо иные. На самом деле они предоставляют себе право допускать какие им вздумается неведомые виды и величины частиц, неопределенные их расположения и движения, а также измышлять различные неощутимые жидкости, свободно проникающие через поры тел и обладающие всемогущею тонкостью и скрытыми движениями.

Таким образом они предаются фантазиям, пренебрегая истинною 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 и затем синтетически получают законы остальных явлений. Вот этот-то самый лучший способ исследования природы и принят преимущественно перед прочими нашим знаменитейшим автором. Лишь к этому методу он счел достойным приложить свои труды для его усовер-

шенствования и развития. Он же дал и знаменитейший пример приложения этого метода, выведя счастливейшим образом изъяснение системы мира из теории тяготения. Уже и другими предполагалось или подозревалось существование тяготения как общего свойства тел, но лишь, он первый и один из всех, смог доказать его существование на основании совершающихся явлений и положить в основу для самых возвышенных изысканий.

Мне конечно известны лица с видными именами, которые, страдая некоторыми предрассудками, неохотно соглашаются с этим новым началом и неведомому отдают предпочтение перед твердо установленным. Я не имею в виду вредить их славе, а хочу лишь все изложить вкратце, чтобы ты сам, благосклонный читатель, мог себе составить справедливое суждение о деле“.

Затем Котес на нескольких страницах с замечательной ясностью и последовательностью мысли излагает сущность учения о всемирном тяготении и того, как это учение Ньютоном установлено. Эти страницы пришлось бы выписать целиком, так как передать их содержание еще более сжато невозможно. Затем он говорит:

„Некоторым вся эта небесная физика еще менее нравится, ибо она противоречит *Декартовым* догматам и едва ли может быть с ними согласована. Пусть они остаются при своем мнении, но пусть они будут справедливы и предоставят другим такую же свободу, какую они желают, чтобы была предоставлена им. Пусть же нам будет предоставлено право придерживаться *Ньютоновой* философии, которую мы считаем более правильной, и признавать истинными причины, подтверждаемые явлениями, а не такие, которые выдумываются и ничем не подтверждаются“.

По Декартовой теории вихрей движение планет объяснялось тем, что все пространство заполнено особой жидкой материей, в которой каждой планете принадлежит свой вихрь, которым эта планета и несется при своем обращении вокруг солнца.

Опровержение теории вихрей написано Котесом с живостью и остроумием, о котором могут дать понятие, например, следующие строки:

„Галилей показал, что отклонение брошенного и движущегося по параболе камня от прямолинейного пути происходит от тяготения камня к земле, т.-е. от скрытой причины. Может случиться, что какой-либо другой, более пронизательный философ измыслит другую причину. Он придумает, что некоторая материя, не постигаемая ни зрением, ни ощущением, вообще никакими чувствами, заполняет пространство, смежное с поверхностью земли, что эта материя обладает по различным направлениям различными, зачастую противоположными движениями по параболическим линиям. После этого он под одобрение толпы так объяснит отклонение камня: движущийся камень плавает в этой тончайшей жидкости и, следуя ее течению, не может описывать иного пути, жидкость же движется по параболам, следовательно, и камень должен двигаться по параболе. Кто же после этого не будет удивляться остроте ума этого философа, объясняющего механическими причинами, т.-е. материей и движением явления природы совершенно понятно даже для неученых? Кто же не пожалеет этого простака Галилея, который после больших математических усилий ввел лишь вновь скрытые свойства, от которых философия столь счастливо была избавлена? Однако, стыдно продолжать еще дальше заниматься вздором.

Сущность дела состоит в следующем: число комет громадно, движения их весьма правильны и следуют тем же законам, как и движения планет. Они движутся по коническим сечениям, и орбиты их весьма растянуты, поэтому они проносятся по всем частям небесного пространства и свободно проходят через области планет, часто попятным движением. Эти явления, подтверждаемые точнейшими астрономическими наблюдениями, не могут быть объяснены вихрями и никак иначе не могут быть совместимы с планетными вихрями. Вообще движения комет не могут иметь места иначе, как если эта измышленная материя вихрей не будет совершенно удалена из небесного пространства“.

В то время богословие господствовало над наукою, для которой конечною целью ставилось способствовать прославлению „величия, всеведения и всемогущества творца вселенной“. Непреложность истин богословия подтверждалась при надобности и столь убедительными средствами, как допрос с пристрастием и костер. Котес, отдавая дань своему времени, в заключительных страницах своего предисловия показывает, что Ньютонов метод исследования природы соответствует и этой конечной цели науки. Для характеристики я приведу следующий небольшой отрывок. После довольно длинного рассуждения Котес говорит:

„Следовательно, 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 силою 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 (*hominiculus*), 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 наибольшею ясностью проявляются высочайшая мудрость и всемогущество всеумудрейшего и всемогущего творца“.

Уже более ста лет прошло с тех пор, как астрономия и физика освободились от опеки богословия, и никто не

станет искать его в сочинении Ньютона; но так как это сочинение основано на изучении „совершающихся явлений“ и строго математических из них выводов, то им положено основание „рациональной механике“, служащей в свою очередь основанием астрономии и физике, а вместе с последнею и всей современной технике во всех ее неисчислимых проявлениях.

Вот поэтому-то „Начала“ Ньютона, подобно творениям Архимеда, переживут многие века, оставаясь первоисточником „точных наук“.

II

Самое сочинение Ньютона представляет в третьем своем издании большой том in 4^o, заключающий, не считая предисловий, оглавления и указателей, 530 страниц четкой, довольно крупной печати.

Оно подразделено на три книги, которым предпослано общее введение. Изложение — чисто дидактическое, следующее образцу древних авторов, т.-е. высказываются определения и аксиомы, затем предложения с квалификацией: лемма, теорема, проблема (задача), следствие, поучение. Все доказательства ведутся чисто геометрически, не прибегая к алгебре, т.-е. к преобразованию формул, составлению уравнений и решению их, если не считать тех многочисленных „производных“ пропорций, которые получаются из данной и которые составляли еще в недавнее время такой „камень преткновения“ для гимназистов 3-го класса. Составляя такую производную пропорцию, Ньютон по обычаю того времени предпосылает и соответствующие термины, как например: *permutando*, *invertendo* и т. д. В этом смысле, так сказать, внешний математический аппарат весьма

прост: не видно ни сложных формул, ни длинных выкладок. По отношению к геометрии дело обстоит несколько иначе — для понимания „Начал“ необходимо не только отчетливое знание элементарной геометрии, и притом в Эвклидовом изложении, которое и до сих пор еще удержалось в Англии, но и главнейших свойств конических сечений, также в геометрическом их изложении. Эти познания Ньютон предполагает читателю известными, остальной же новый требуемый ему математический аппарат развивает сам на месте, но в чрезвычайно сжатой форме, как о том будет сказано ниже.

Геометрическое изложение, соответствовавшее обычаю и состоянию науки того времени, для большинства теперешних читателей, при старинном начертании формул, с показателями степеней обозначенными словами, а не числами, представляет при чтении излишнюю трудность; эта трудность увеличивается еще тем, что Ньютон, в целях сжатости изложения, идет, так сказать, крупными шагами, пропуская многие промежуточные рассуждения; поэтому в моем переводе Ньютоновых „Начал“ на русский язык я придал формулам общепринятый теперь вид и большую часть доказательств пояснил в примечаниях, с соответствующими аналитическими выводами и алгебраическими выкладками в теперешней форме.

III

Первая книга „Начал“ содержит 14 отделов, которым предпослано как бы введение, заключающее: Определения и затем Аксиомы или Законы движения.

Определения основных понятий, высказываемые Ньютоном следующие:

„I. Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее“.

„II. Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе“.

„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“.

„IV. Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения“.

„V. Центростремительная сила есть та, с которою тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся“.

„VI. Абсолютная величина центростремительной силы есть мера большей или меньшей мощности самого источника ее распространения из центра в окружающее его пространство“.

„VII. Ускорительная величина центростремительной силы есть ее мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течение данного времени“.

„VIII. Движущая величина центростремительной силы есть ее мера, пропорциональная количеству движения, которое ею производится в течение данного времени“.

Каждое из понятий, которым даны вышеприведенные определения, поясняется еще примерами, взятыми из обыденной жизни, чтобы у читателя составилось ясное представление об истинном смысле вводимого термина.

По поводу этих определений, в особенности первого из них, можно сказать, исписаны целые тома; сам же Ньютон

показывает опытами над маятниками, построенными из разных веществ, что масса тел пропорциональна их весу, давая таким образом точный способ сравнения масс доступных нам земных тел. Затем в третьей книге он показывает способ находить отношение масс планет к массе солнца.

Аксиомы или Законы движения высказаны Ньютоном в следующей форме:

„Закон I. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние“.

„Закон II. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует“.

„Закон III. Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе, взаимодействия двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны“.

Каждый закон Ньютон поясняет примерами, чтобы не возбуждалось сомнения, какой смысл должен быть придаваемым высказанным им положениям.

Высказав эти законы, Ньютон сопровождает их шестью следствиями: в двух первых он доказывает то, что теперь называют параллелограммом сил, в двух вторых—так называемый теперь закон количеств движения и закон движения центра тяжести системы. Последние два следствия высказаны в такой форме:

„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“.

„Следствие VI. Если несколько тел, движущихся как бы то ни было друг относительно друга, будет подвержено действию равных ускоряющих сил, направленных по параллельным между собою прямым, то эти тела будут продолжать двигаться друг относительно друга так же, как если бы сказанные силы на них не действовали“.

Три Ньютоновых закона движения подвергались в течение протекших с того времени, как они высказаны, двухсот сорока лет, неисчислимому множеству критических разборов, попыток придать им иную формулировку или даже заменить их другими равнозначущими, но все такие попытки не имели успеха, или имели лишь успех кратковременный, и можно сказать, что не только сами Ньютоновы законы, но самая их формулировка Ньютоном, подобно Эвклидовым аксиомам геометрии и пирамидам, неизбежно противостоят всеразрушающему времени.

Введение Ньютон заканчивает обширным Поучением, из которого приведем здесь лишь следующие заключительные строки:

„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 трения, сцепления, веса и ускорения, то во всякой машине действие и противодействие будут постоянно равны, и поскольку действие передается машиною и в конце концов прилагается к сопротивляющемуся телу, то это последнее его значение будет обратно значению противодействия“.

Теперь нам нетрудно усмотреть, что в этих словах за-

ключается самая общая формулировка так называемого начала возможных скоростей, включая начало Даламберта; но нужно было, чтобы прошло сто два года, и нужен был гений Лагранжа, чтобы усмотреть это впервые и, выразив алгебраическою формулою слова Ньютона, объять эту единую формулою всю рациональную механику и свести все ее вопросы к вопросам чистой математики.

IV

I отдел книги первой озаглавлен: „О методе первых и последних отношений, при помощи которого последующее доказывается“.

Эта глава — чисто математическая и содержит изложение созданного самим Ньютоном метода пределов, который им и применяется во всем дальнейшем изложении. Этот метод, основанный на высказываемом Ньютоном точном, сохранившемся и до сих пор определении предела переменной величины, заключается в разыскании для отношения двух переменных — связанных между собою таким заданным геометрическим соотношением, что обе эти переменные одновременно обращаются в нули — предела, когда они обе приближаются к нулю. Это разыскание предела отношения двух так называемых бесконечно-малых величин было затем Ньютоном обобщено в названное им „исчисление флюксий“, или по теперешней, удержавшейся от Лейбница терминологии — „дифференциальное исчисление“. Здесь же Ньютон дает и ту основную теорему о пределе суммы бесчисленного множества бесконечно-малых слагаемых, которая служит основанием интегрального исчисления, или, по Ньютоновой терминологии, „кватратуры кривых“.

Однако, в первой книге Ньютон о флюксиях не говорит и упоминает о них лишь во второй книге, как о том будет сказано ниже.

Таким образом, эта глава содержит крайне сжатое и краткое изложение того нового математического метода, при помощи которого Ньютон и решает такие вопросы механики, которых до него никто не осмеливался и затрагивать, этим создавая самую науку — рациональную механику. Вместе с тем он доводит ее до той полноты и совершенства, которые будут видны по содержанию следующих отделов его сочинения.

„Отдел II. О нахождении центростремительных сил“.

Этот отдел начинается со столь знаменитых двух теорем Ньютона:

„Теорема I. Площади, описываемые радиусами, проводимыми от обращающегося тела к неподвижному центру сил, лежат в одной плоскости и пропорциональны временам описания их“.

Вторая теорема обратная первой, а именно:

„Теорема II. Если тело движется по какой-либо плоской кривой так, что радиусом, проведенным к неподвижной точке или к точке, движущейся равномерно и прямолинейно, описываются площади, пропорциональные времени, то это тело находится под действием центростремительной силы, направленной к сказанной точке“.

Эти две теоремы включаются теперь обыкновенно в каждый курс механики и в каждый курс астрономии, но часто не приводят третьей теоремы этого отдела, также весьма важной:

„Теорема III. Тело, движущееся вокруг другого так, что площади, описываемые радиусами, проведенными

к центру этого второго тела, в свою очередь движущегося как бы то ни было, пропорциональны временам, находится под действием силы, слагающейся из центростремительной, направленной к центру этого второго тела, и полной ускорительной силы, действующей на это второе тело“.

Затем Ньютон прилагает эти теоремы к разысканию центростремительных сил при движении тела по кругу, по логарифмической спирали, по эллипсу, когда сила направлена к его центру.

Здесь особенно замечательна задача II: „Тело обращается по окружности круга, требуется найти закон центростремительной силы, направляющейся к какой-либо заданной точке“.

Само собою разумеется, что Ньютон здесь рассматривает тот общий случай, когда эта точка (притягивающий центр) не совпадает с центром круга. Решение, которое он дает, оказывается как раз представляющим так называемую формулу Бине, данную этим ученым лет через полтора после издания Ньютоновых „Начал“. Такие примеры мы встретим еще не раз.

„Отдел III. О движении тел по эксцентричным коническим сечениям“.

Этот отдел является одним из наиболее важных во всем сочинении; доказываемые здесь предложения служат для установления в третьей книге закона всемирного тяготения.

Вот эти предложения, названные Ньютоном Задачами:

1) „Тело обращается по эллипсу, требуется определить закон центростремительной силы, направленной к фокусу эллипса“.

2) То же, когда оно обращается по гиперболе.

3) То же, когда оно обращается по параболе.

Все три задачи решаются чисто геометрически, при помощи свойств конических сечений и методами, изложенными в первых двух отделах. Во всех трех случаях оказывается, что сила обратно пропорциональна квадрату расстояния до фокуса, т.-е. притягивающего центра.

Затем Ньютон показывает, что если несколько тел обращается по эллипсам около того же притягивающего центра, причем силы обратно пропорциональны квадрату расстояния до центра, то квадраты времен обращения относятся как кубы больших полуосей их орбит, и, наконец, ставит и решает обратную задачу, т.-е. определить орбиту, описываемую около заданного притягивающего центра телом, выходящим из данной точки с данной скоростью. Оказывается, что тело будет описывать одно из конических сечений, т.-е. эллипс, гиперболу или параболу, причем, конечно, задача решается вполне, т.-е. указывается как критерий, какая именно из этих трех кривых будет описана и как найти „элементы орбиты“.

Замечательны следствия 3-е и 4-е этой задачи, в которых говорится:

„Следствие 3. Если тело, движущееся по коническому сечению, будет сбито со своей орбиты каким-либо натиском, то можно определить ту орбиту, по которой оно будет продолжать свой путь. Ибо совокупив количество движения, которое тело имело, с тем, которое ему сообщено натиском, получим количество движения, которым тело будет обладать после натиска в данном месте по направлению заданной по своему положению прямой“, иными словами будет известна его новая скорость по величине и направлению.

„Следствие 4. Если же тело непрерывно возму-

щается какою-либо внешнею силою, то его путь может быть найден приближенно, определяя те изменения, которые производит сила в каких-либо точках, и рассчитывая изменения для промежуточных мест по ряду пропорций“.

Лет через сто после издания „Начал“ Ньютона, Лагранж вывел весьма сложным путем свои знаменитые формулы, выражающие изменения элементов орбиты планеты с течением времени под действием заданной возмущающей силы. Эти формулы в теории возмущенного движения планет считаются главными, и один из методов вычисления этих возмущений и посейчас основан на применении этих формул. Оказывается, что стоит только выразить аналитически сказанное Ньютоном в этих следствиях, и все эти формулы Лагранжа получаются, можно сказать, сами собою, как то показано мною в примечании к этому месту „Начал“. Для этого вывода достаточны лишь те математические приемы и способы, которыми Ньютон пользовался, и есть полное основание думать, что все Лагранжевы формулы изменения элементов орбит были известны уже самому Ньютону.

„Отдел IV. Об определении эллиптических, параболических и гиперболических орбит при заданном фокусе“.

Этот отдел представляет решение ряда чисто геометрических задач об определении конических сечений по разным их заданиям, т.-е. или точек, через которые они должны проходить, или прямых, коих они должны касаться; но при дальнейшем изложении этими задачами Ньютон почти не пользуется, и мы их перечислять не будем, не смотря на замечательный их подбор.

„Отдел V. О нахождении орбит, когда ни одного фокуса не задано“.

Этот отдел тоже чисто геометрический и включает решение следующих задач—построить коническое сечение по данным:

- 1) пяти точкам,
- 2) четырем точкам и одной касательной,
- 3) трем точкам и двум касательным,
- 4) двум точкам и трем касательным,
- 5) одной точке и четырем касательным,
- 6) пяти касательным.

Все решения даются построением, причем Ньютон намеренно не пользуется аналитической геометрией.

„Отдел VI. Об определении движения по заданным орбитам“.

Отдел имеет чисто астрономический характер и включает изложение так называемой задачи Кеплера и способа ее решения последовательными приближениями.

„Отдел VII. О прямолинейном движении тел к центру или от центра“.

В этом отделе сперва рассматривается прямолинейное движение тела, притягиваемого обратно пропорционально квадрату расстояния к неподвижному центру, как предельный случай движения по эллипсу, гиперболе или параболе, что и позволяет Ньютону выполнить те квадратуры, к которым задача приводится, и дать их геометрическое представление.

В последнем предложении этого отдела рассматривается тот случай, когда закон притяжения — какой угодно. Решение Ньютона замечательно тем, что в нем он, в сущности, выводит закон живых сил, представляя при этом работу заданной силы площадью той диаграммы, которой пользуются и посейчас.

„Отдел VIII. О нахождении орбит, по которым обращаются тела под действием каких угодно центростремительных сил“.

В этом отделе Ньютон выводит закон живых сил для движения тела под действием любой центральной силы и, пользуясь этим законом и законом площадей, приводит поставленную им задачу к квадратурам, выражая лишь геометрически все то, что теперь при решении этой задачи обыкновенно делается аналитически.

„Отдел IX. О движении тел по подвижным орбитам и о перемещении апсид“.

Решаемые в этом отделе вопросы имеют первостепенное значение в той науке, которая теперь называется небесной механикой.

Апсидами или вершинами орбиты называются ближайшая и наиболее удаленная от притягивающего центра точки ее, т.е. что в астрономии для планет называются — перигелий и афелий и для луны в движении ее вокруг земли — перигей и апогей. Для планет эти точки почти неподвижны или, если и перемещаются, то крайне медленно, т.е. на несколько секунд в столетие, для луны примерно на 3° за один ее оборот, т.е. в месяц.

Ньютон ставит сперва общую задачу: требуется заставить тело двигаться по заданной, вращающейся около центра сил, орбите одинаково с другим телом, движущимся по такой же покоящейся орбите; дав общее решение этой задачи, он применяет его к тем частным случаям, которые имеют место в нашей планетной системе.

Прежде всего он доказывает общую теорему: „Разность сил, заставляющих двигаться одно тело по неподвижной орбите, другое по такой же орбите, но равномерно

вращающейся обратно пропорционально третьей степени расстояния этих тел до центра“. Затем он исследует случай движения апсид, когда орбиты весьма близки к кругу, и между прочим говорит: „поэтому, если центростремительная сила пропорциональна какой-либо степени расстояния, то эту степень можно определить по движению апсид, и наоборот“. Именно, если полное угловое перемещение тела, после которого оно вновь возвращается в ту же вершину, так относится к полному его обороту или 360° , как число m к n , и если расстояние обозначим через A , то сила пропорциональна A^p , причем показатель степени p равен $\frac{n^2}{m^2} - 3$. Дав несколько примеров, он продолжает: „Если тело после каждого оборота будет возвращаться в ту же самую вершину, которая, следовательно, остается неподвижной так, что $m : n = 1$, то будет

$$p = \frac{n^2}{m^2} - 3 = -2$$

$$A^p = A^{-2} = \frac{1}{A^2}$$

т.-е. сила обратно пропорциональна квадрату расстояния“.

Орбиты планет весьма близки к кругам — неподвижность их апсид и служит наиболее точным и чувствительным признаком того, что притяжение планет к солнцу обратно пропорционально квадрату расстояния.

„Отдел X. О движении тел по заданным поверхностям и о колебательном движении подвешенных тел“.

В этом отделе излагается, главным образом, общая теория маятника, а также указывается решение задачи о движении точки по данной поверхности вращения под действием силы, направленной к постоянному центру,

лежащему на оси этой поверхности. В решении, даваемом Ньютоном, показывается, каким образом эта задача приводится к квадратурам.

„Отдел XI. О движении тел взаимно притягивающихся центростремительными силами.“

Дав полное решение так называемой задачи двух тел, притягивающихся обратно пропорционально квадрату расстояния, Ньютон дает полное решение задачи о движении многих тел, притягивающихся друг к другу пропорционально расстоянию, и, наконец, переходит к задаче многих тел, притягивающихся обратно пропорционально квадрату расстояний, и между прочим говорит: „когда притяжение обратно пропорционально квадрату расстояний, то тела не могут вообще в точности двигаться по эллипсам, разве только, когда сохраняется некоторая пропорция между расстояниями“. Задача многих, в частности трех, тел привлекала в течение более двух столетий труды величайших математиков и не может считаться окончательно решенной и по сей час (решение Зундмана, кажется, не получило практических применений). Вот что, между прочим, сказано по этому поводу в „Небесной Механике“ Тиссерана: „Точное интегрирование дифференциальных уравнений задачи трех тел известно в том случае, когда их взаимные расстояния сохраняют постоянные отношения друг к другу“; в остальных случаях точное решение этой задачи неизвестно. Повидимому, указываемый случай был уже известен Ньютону.

Затем Ньютон указывает случаи, когда движение тел может совершаться по орбитам, близким к эллипсам, и излагает общий характер возмущений движения, близкого к круговому, одного тела вокруг другого (луна около

земли) действием третьего, от них весьма удаленного (солнца), подготавливая таким образом основания для теории движения луны, излагаемой в книге третьей.

В заключение этого отдела Ньютон показывает, что взаимные притяжения тел системы должны быть пропорциональны их массам, если эти притяжения зависят только от расстояния между телами.

„Отдел XII. О притягательных силах сферических тел“.

Показав сперва, что притяжение однородным сферическим слоем частицы, находящейся внутри его, равно нулю, притяжение же частицы вне слоя направлено к центру сферы и обратно пропорционально квадрату расстояния до него, Ньютон находит притяжение точки сплошным однородным шаром и затем притяжение двух шаров, когда притяжение частицы элементом объема шара обратно пропорционально квадрату расстояний между ними. Затем он находит притяжение шаром при иных законах элементарного притяжения, а также и притяжение сегментом шара.

„Отдел XIII. О притяжении тел не сферических“.

Высказав несколько общих теорем о притяжении между двумя телами при непосредственном их соприкосновении, Ньютон показывает, как выражается притяжение точки, лежащей на перпендикуляре, проведенном через центр круга к его плоскости, этим кругом; отсюда он показывает, как найти притяжение точки, лежащей на оси тела вращения, этим телом, и для примера приводит выражение притяжения эллипсоида вращения на точку, лежащую на его оси, но вывода своей формулы не дает.

Отделы XII и XIII, в особенности последняя теорема о притяжении эллипсоида, показывают, в какой мере уже к изданию „Начал“ Ньютон владел „способом квадратур“,

или, по теперешней терминологии, интегральным исчислением, хотя свое сочинение „О квадратурах“ он обнаружил лишь в 1704 году.

„Отдел XIV. О движении весьма малых тел под действием центростремительных сил, направленных к отдельным частицам весьма большого тела“.

Теоремы, излагаемые в этом отделе, служат основанием Ньютоновой теории света, для установления законов его отражения и преломления, после чего он прилагает полученные выводы к определению вида таких поверхностей, при ограничении которыми стекла все лучи, исходящие из заданной точки, соберутся в другую точку.

Книга первая заключается следующим Поучением:

„По этому способу можно было бы перейти к трем или большему числу поверхностей, но для оптических приложений наиболее удобны сферические поверхности. Если бы составить объективы телескопов из двух стекол, ограниченных сферическими поверхностями, заполнив промежуток между ними водою, то, может быть, погрешности преломления, образующиеся на наружных поверхностях, были бы исправлены преломлением воды с достаточною точностью.

Такие объективы следует предпочесть эллиптическим или гиперболическим стеклам не только потому, что их легче изготовить, но и потому, что ими более правильно преломляются пучки лучей, расположенные вне оси стекол. Однако, в действительности различная преломляемость разных лучей есть такое препятствие, влечение которого в оптике сферическими или иными стеклами можно достичь лишь малого совершенства, и покуда не будут в состоянии исправить происходящих от этого погрешностей, будет

вполне бесполезно затрачивать труд на исправление прочих погрешностей“.

Книга вторая заключает 9 отделов, в которых Ньютон излагает учение о движении тел в сопротивляющейся среде, предполагая, что это сопротивление пропорционально или первой степени скорости, или второй степени, или выражается двучленной формулой, в которой один член пропорционален первой степени скорости, а другой — второй. В первых трех отделах он рассматривает как прямолинейное, так и криволинейное движение, предполагая, что на тело, кроме сопротивления среды, действует и сила тяжести. Для некоторых задач он прибегает к аналитическому изложению, и в лемме II отдела II приводит основание своего метода флюксий.

В первых двух изданиях в Поучении к лемме было сказано: „В письмах, которыми около десяти лет тому назад я обменивался с весьма искусным математиком Г. Г. Лейбницем, я ему сообщал, что я обладаю методою для определения максимумов и минимумов, проведения касательных и решения тому подобных вопросов, одинаково приложимою как для членов рациональных, так и для иррациональных, причем я ее скрыл, переставив буквы следующего предложения: „*data equatione quotcumque fluentes quantitates involvente fluxiones invenire et vice versa*“ (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“.

В третьем же издании вместо этого сказано:

„В письме к *Д. И. Коллинсу*, от 10 дек. 1672 года, в котором я описывал методу проведения касательных, относительно которой я подозревал, что она та же самая, как и данная *Слузием*, тогда еще не опубликованная, я добавил: ‘Это составляет лишь частный случай или следствие гораздо более общего метода, который распространяется без всяких трудных выкладок не только на проведение касательных к каким угодно кривым как геометрическим, так и механическим или как бы то ни было связанным с другими прямыми или кривыми линиями, но и на решение других более трудных родов задач: о кривизне, площадях, длинах и центрах тяжести кривых и т. д., причем не приходится ограничиваться (как в методе Гуддена для наибольших и наименьших) случаем уравнений не содержащих иррациональностей. Этот метод я сочетал с другим, относящимся к решению уравнений при помощи бесконечных рядов’. Этой выдержки из письма достаточно. Последние же слова относятся к сочинению, написанному об этих предметах в 1671 году. Основание же общего способа содержится в предыдущей лемме“.

Это место „Начал“, в особенности в первых двух изданиях, послужило одним из поводов к едва ли не вековой полемике о том, кому принадлежит первенство в изобретении способа исчисления бесконечно-малых — Ньютону или Лейбницу.

В Отделе IV рассматривается обращение тела под действием притяжения центра и сопротивления среды и показывается, при каком законе изменения плотности среды тело будет описывать логарифмическую спираль.

Отдел V содержит краткое изложение основ гидро-

статики, которые и применяются к выводу закона изменения плотности атмосферы с высотой.

Отдел VI. В этом отделе изложено учение о движении маятников в сопротивляющейся среде и применение маятников к изучению закона сопротивления среды, для чего Ньютон пользуется тем доказанным им свойством, что при малой величине размахов, если сопротивление среды пропорционально какой-либо степени скорости, то уменьшение размахов, им вызываемое, пропорционально той же степени величины их. Ньютон не ограничивается только теоретическою частью, но описывает и дает результаты произведенных им опытов над качанием маятников в воздухе, в воде и в ртути.

„Отдел VII. О движении жидкостей и сопротивлении брошенных тел“.

Этот отдел начинается с установления Ньютоном так называемого закона механического подобия. Через сто семьдесят шесть лет после издания Ньютоновых „Начал“, Фруд применил этот закон для того, чтобы по сопротивлению, испытываемому моделью корабля, найти сопротивление движению самого корабля, а значит и определить мощность машины, которая необходима, чтобы корабль мог развивать заданную скорость. Исследования Фруда получили затем такое распространение, что во всех странах построены бассейны для испытания судов по его способу, и можно сказать, что за последние сорок лет не было построено ни одного военного и ни одного быстроходного коммерческого корабля, которого модель не была бы предварительно испытана.

Затем Ньютон при некоторых предположениях выводит свой общий закон сопротивления жидкостей, прилагает его

к вычислению сопротивления, испытываемого шарами при движении в жидкости известной плотности, и проверяет этот закон опытами над падением шаров разной плотности в воздухе, воспользовавшись куполом собора св. Павла в Лондоне, который в это время строился. Затем он делал опыты над падением шаров в воде, построив для этого трубу, высотой в 9 футов, и беря восковые шарики со свинцовым ядром внутри, так, чтобы при одинаковом наружном диаметре они были разного веса. Результаты этих опытов он приводит и разбирает с большою подробностью.

„Отдел VIII. О движении распространяющемся через жидкость“.

Здесь Ньютон выводит сперва закон колебания жидкости в коленчатой трубе (Ньютонов жидкий маятник), применяет полученные выводы к составлению теории волнообразного движения тяжелой жидкости и показывает, что скорость бега волн пропорциональна корню квадратному из длины их. В конце главы Ньютон выводит свою знаменитую формулу скорости звука, и притом для самой общей формы зависимости между плотностью и давлением газа. Для численного приложения он воспользовался законом Бойля-Мариотта и получил величину, значительно меньшую наблюдаемой. Он приписал это отклонение тому, что воздух не есть сплошная однородная среда, а состоит из отдельных частиц конечной величины, а отчасти тому, что он содержит водяные пары. Это объяснение Ньютона оказалось неправильным и исправлено Лапласом и Пуассоном примерно через сто лет после издания „Начал“.

„Отдел IX. О круговом движении жидкостей“.

Здесь рассматриваются некоторые элементарные свой-

ства вихрей, и вся глава предназначена для опровержения Декартовой теории движения планет. Замечательно, что здесь в рассуждение Ньютона вкралась ошибка: он брал силы там, где надо было брать моменты сил. Эта ошибка была замечена Стоксом в 1845 году, но исправление ее не меняет существенно результатов Ньютона, так как сказывается лишь в изменении некоторых пропорциональностей.

Этот отдел, а с ним и книга вторая, заканчиваются поучением, что свойства вихрей противоречат наблюдаемым при движении планет явлениям.

Книга третья, „О системе мира“, начинается следующим вступлением:

„В предыдущих книгах я изложил начала философии, не столько чисто философские, поскольку математические, однако такие, что на них могут быть обоснованы рассуждения о вопросах физических. Таковы законы и условия движений и сил, имеющие прямое отношение к физике. Чтобы они не казались бесплодными, я пояснил их некоторыми физическими поучениями, рассматривая те общие вопросы, на которых физика главным образом основывается, как то: о плотности и сопротивлении тел, о пространствах свободных от каких-либо тел, о движениях света и звука. Остается изложить, исходя из тех же начал, учение о строении системы мира. Я составил сперва об этом предмете третью книгу, придерживавшись популярного изложения, так чтобы она читалась многими. Но затем, чтобы те, кто недостаточно поняв начальные положения, а потому совершенно не уяснив и силы их следствий и не отбросив привычных им впродолжение многих лет предрассудков, не вовлекли бы дело в пререкания, я переложил

сущность этой книги в ряд предложений, по математическому обычаю, так чтобы они читались лишь теми, кто сперва овладел началами. Ввиду же того, что в началах предложений весьма много, и даже читателю знающему математику потребовалось бы слишком много времени, я вовсе не настаиваю, чтобы он овладел ими всеми. Достаточно, если кто тщательно прочтет определения, законы движения и первые три отдела первой книги, и затем перейдет к этой третьей книге о системе мира; из прочих же предложений предыдущих книг, если того пожелает, будет справляться в тех, на которые есть ссылки“.

После этого вступления Ньютон высказывает следующие „Regulae philosophandi“, по буквальному переводу— „правила философствования“, по теперешнему же смыслу терминов — „правила умозаключений в физике“.

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

По этому поводу философы утверждают, что природа ничего не делает напрасно, а было бы напрасным совершать многим то, что может быть сделано меньшим. Природа проста и не роскошествует излишними причинами вещей.

Правило II. Поэтому, поскольку возможно должно приписывать те же причины того же рода проявлениям природы.

Так, например, дыханию людей и животных, падению камней в *Европе* и в *Америке*, свету кухонного очага и солнца, отражению света на земле и на планетах.

Правило III. Такие свойства тел, которые не могут быть ни усилиемы, ни ослабляемы и которые оказываются

присущими всем телам, над которыми возможно производить испытания, должны быть почитаемы за свойства всех тел вообще“.

Из длинного примечания, поясняющего это правило, мы приводим лишь следующие строки:

„Свойства тел постигаются не иначе как испытаниями; следовательно, за общие свойства надо принимать те, которые постоянно при опытах обнаруживаются, и которые, как не подлежащие уменьшению, устранены быть не могут. Понятно, что в противность ряду опытов не следует измышлять на авось каких-либо бреден, не следует также уклоняться от сходственности в природе, ибо природа всегда проста и всегда с собой согласна“.

„Правило IV. В опытной физике предложения, выведенные из совершающихся явлений помощью наведения, несмотря на возможность противных им предположений, должны быть почитаемы за верные или в точности, или приближенно, пока не обнаружатся такие явления, которыми они еще более уточнятся или же окажутся подверженными исключениям.“

Так должно поступать, чтобы доводы наведения не уничтожались предположениями“.

После этих правил Ньютон приводит известные уже в его время с большою точностью основные данные о движении планет нашей солнечной системы и их спутников, показывает, что при этих движениях имеют место законы Кеплера, и затем, на основании общих свойств, выведенных в первой книге, доказывает, что все планеты тяготеют к солнцу с силою обратно пропорционально квадрату расстояния, а спутники тяготеют к своим планетам. Затем он доказывает, что это тяготение пропорционально

массам, и находит отношение масс планет, имеющих спутников, т.-е. Юпитера, Сатурна и Земли, к массе солнца. Здесь же он приводит свои опыты с маятниками с чечевицею из различных веществ, как то: золото, серебро, свинец, стекло, песок, поваренная соль, дерево, вода, пшеница, и показывает, что масса этих тел пропорциональна их весу, иначе, что ускорение силы тяжести в данном месте одинаково для всех тел и не зависит от химического состава их. Эти опыты были затем повторены точнейшим образом Бесселем в 30-х годах XIX столетия, и результаты Ньютона вполне подтвердились, со всею точностью, которая была достигнута таким наблюдателем как Бессель на приборах работы Репсольда.

В предложении XIX Ньютон определяет расчетом форму земного сфероида и находит для его сжатия величину $1/229$. Произведенные в течение XIX века геодезические измерения показали, что это сжатие составляет $1/300$.

Затем Ньютон излагает теорию движения луны, т.-е. находит теоретически, какие неравенства в ее движении должны происходить от действия солнца, и устанавливает главнейшие из них. Излагает теорию приливов и дает теоретические объяснения многих их особенностей, уже и тогда известных. Объясняет причину предвращения равнодействий, и даже делает расчет величины годовой солнечной и лунной прецессии, причем получает случайно результат близкий к наблюдаемому. Дело в том, что, составляя формулы для этого расчета, Ньютон сделал ошибку, замеченную впервые в 40-х годах XIX века Симпсоном. Полученное случайное численное согласие результатов, повидимому, помешало Ньютону заметить эту ошибку самому.

Последний отдел книги заключает исследование Нью-

тона о движении комет и содержит изложение его замечательного метода определения параболической орбиты кометы по трем наблюдениям ее.

Видно, что нахождение этого метода стоило Ньютону большого труда, ибо он называет вопрос или, по его терминологии, Задачу об определении параболической орбиты кометы „*problema longe difficillimum*“, но зато полученное им решение представляет образец недосыгаемой геометрической проникновенности.

Сжатость изложения делает изучение этого метода довольно трудным; подробное его исследование можно найти в № 1 Известий Морской Академии в моей статье: „Об определении орбит...“.

Ньютон заканчивает свое сочинение общим поучением, в котором он, изложив вкратце обозрение системы мира, перечисляет свойства бога, как творца вселенной, и между прочим говорит: „Бог не испытывает воздействия от движущихся тел, движущиеся тела не испытывают сопротивления от вездесущия божия“.

Заключительные слова „Начал“ следующие:

„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 чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга му-

скулам. 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“.

Слова эти, можно сказать, оказались пророческими — вот уже два века после Ньютона как физика изучает „законы действия“ той среды, в которой совершаются явления, составляющие область ее изысканий.

П. П. ЛАЗАРЕВ

ОПТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НЬЮТОНА

РАБОТЫ Ньютона по механике точки показали в нем величайшего теоретика, заложившего основы точной науки, пользующейся в течение двухсот лет его методами. В оптических работах Ньютона мы имеем дело с гениальным экспериментатором и теоретиком, создавшим основы современного спектрального анализа и учения о цветах, а также заложившего базы современной физической оптики.

В своей „Оптике“ Ньютон исходил из нескольких простых опытов, которые до сих пор являются классическими и которые до сих пор заставляют удивляться глубине замысла Ньютона и его удивительной способности экспериментировать.

Основной опыт Ньютона был следующий: если взять небольшое круглое отверстие в ширме, через которое в темную комнату будет проникать солнечный луч, и затем на пути луча поставить призму с гранями, расположенными горизонтально, и с острым углом, обращенным вниз, то на экране, поставленном на некотором расстоянии от призмы, получится вертикальная полоска, один конец которой (нижний) имеет красный цвет, а другой конец (верхний) — цвет фиолетовый; между ними расположен ряд цветов в таком

порядке: за красным следует оранжевый, далее желтый, зеленый и синий, граничащий с фиолетовым. Эта полоска цветов названа Ньютоном спектром.

Рассмотрение этой полоски заставило Ньютона прежде всего заключить, что свет различного цвета является различно преломляемым в веществе призмы и что спектр есть налагающиеся друг на друга цветные изображения солнца, полученные через узкое отверстие, так что спектр должен состоять из ряда окрашенных кружков, заключающих простые, однородные лучи и следующих в указанном выше порядке друг за другом.

Следующий опыт дополняет описанный основной эксперимент Ньютона и позволяет решить вопрос о характере цветов, заключенных в кружках, из которых состоит спектр.

Ньютон пропустил солнечные лучи через отверстие в ширме и заставил их падать на призму, разлагающую свет на простые цвета и дающую на экране спектр. В экране имеется отверстие, выделяющее узкий пучок лучей одного цвета. Если заставить эти одноцветные лучи падать на вторую призму, то одноцветный пучок отклонится целиком, сохраняя свой свет. Этот опыт можно проделать со всеми лучами спектра, и мы, таким образом, в этом опыте впервые видим точное доказательство того, что свет, принадлежащий цветам спектра, есть свет, имеющий определенную преломляемость или, как мы можем иначе сказать, есть свет простой, не разлагающийся призмой на составные части.

После этих первых опытов Ньютон описал опыт, который является основным, классическим опытом спектроскопии и который сохраняет до сих пор все свое значение.

Он взял круглое отверстие в ширме и поместил на пути лучей линзу, дающую на экране изображение отверстия. Если на пути лучей после линзы поставить призму, преломляющим ребром вниз, то лучи отклонятся и дадут на экране ряд круглых окрашенных изображений, накладывающихся друг на друга и образующих спектр (при этом наверху будет фиолетовый конец, внизу красный). Описывая этот опыт Ньютон прибавляет: „Однако, лучше вместо круглого отверстия брать продолговатое, в форме вытянутого параллелограмма, длинные стороны которого параллельны граням призмы. Если это отверстие имеет в длину 1 или 2 дюйма и в ширину только $\frac{1}{10}$ или $\frac{1}{12}$ дюйма или еще уже, то свет изображения будет таким же простым, как и раньше, и изображение будет шире и поэтому исследование его света удобнее, чем было раньше“.¹ Этот опыт является основным для современной спектроскопии, и, в сущности, все части спектроסקопа уже описаны и изучены Ньютоном в этом основном опыте.

Вышеуказанные опыты Ньютона позволили ему высказать ясное и точное представление о природе белого света. Белый цвет есть свет сложный, состоящий из ряда простых цветов, на которые он разлагается, проходя через призму.

Если соединить лучи спектра при помощи линзы снова в изображение отверстия, то получится белое изображение, что доказывает, что полученные призматическим разложением цветные лучи при их соединении дают белый свет. Этот опыт является опытом синтеза белого цвета и он представлялся Ньютону основанием для

¹ Sir Isaac Newtons Optik, 1 Buch, p. 47. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften, № 96.

дальнейших опытов со смешением разных цветов, причем Ньютон очень остроумно устраняет при помощи ряда механических приспособлений определенные участки спектра из смешиваемых лучей и показывает, что кроме белого цвета можно получить при смешении или спектральный простой цвет или цвет пурпуровый.

Ньютон так характеризует результаты своих опытов со смешением цветов.

„Через смешение могут получаться цвета, которые, хотя и являются похожими по виду на цвета однородного света, однако не идентичны с ними по цвету, составу и природе света. Чем сложнее эти цвета, тем менее они насыщены и интенсивны, и при смешении многих цветов цвета могут быть ненасыщены и ослаблены до их исчезновения, причем смесь является тогда белой или серой. Через смешение могут получаться также цвета, которые не похожи на однородные цвета“.¹ В этом последнем случае Ньютон говорит о цветах пурпуровых, которые возникают при смешении цветов наряду с белыми и спектральными цветами.

Разрабатывая этот вопрос далее, Ньютон пришел к замечательному графическому приему изображения смешения цветов, который был далее разработан ближе Гельмгольцем, Максвеллом и Релеем и дал блестящие результаты в физиологической оптике.

Следующие исследования Ньютона в области оптики касаются цветов тонких пластинок, которые он хотел положить в основу учения о цветах тел природы, предполагая, что толщины молекул разных тел влияют на цвет тела.

Ньютон совершенно правильно описал цвета тонких

¹ Newton, Op. cit., p. 85,

пластинок и дал гениальный прием, постоянно демонстрирующийся и поныне на лекциях и позволяющий удобно изучать цвета тонких пластинок. Этот прием состоит в том, что на плоскую стеклянную пластинку помещают линзу, имеющую малую кривизну, так, что слой воздуха между пластинкой и линзой постепенно увеличивается от центра, где линза соприкасается с пластинкой, к краям, где расстояние линзы от пластинки максимальное. Ньютон верно описывает все явления так называемых Ньютоновских колец и дает настолько верные измерения в этой области, что более чем сто лет спустя Юнг и Френель, при измерениях длин волн света, пользовались этими классическими исследованиями Ньютона.

Эти экспериментальные исследования Ньютона останутся навсегда бессмертным памятником гениального творчества одного из величайших людей всех веков и всех народов.

Теоретическое объяснение оптических явлений, поставленное отчасти в виде вопросов в конце „Оптики“, привело Ньютона к его знаменитой эмиссионной теории света, представляющей свет, как процесс испускания мельчайших частичек, летящих во все стороны со скоростью света от источника его.

Ньютон легко мог объяснить явления отражения и преломления света, исходя из своего представления, причем показатель преломления n должен был равняться, по Ньютоновской теории отношению скорости света в веществе v_2 к скорости в воздухе v_1 ($n = v_2/v_1$).

Возникшая в то же время в работах Гюйгенса теория волнообразного распространения света, аналогичная теории звуковых волн, приводила также к результатам, согласным

с опытом, и также позволяла определить показатель преломления вещества, причем по теории волнений $n = v_1/v_2$. Таким образом, если n более единицы, то скорость света в веществе v_2 по теории истечения должна быть больше, чем скорость в воздухе v_1 . По волновой теории, наоборот $v_1 > v_2$. Таким образом, мы имеем в скорости света критерий, позволяющий решить вопрос о верности Ньютоновой или Гюйгенсовой теории. Этот опыт был сделан Фуко, и оказалось, что теория Ньютона не верна. Однако, потребовалось более ста лет, чтобы можно было на опыте проверить воззрения Ньютона и показать справедливость воззрений Гюйгенса. Авторитет Ньютона и его попытки объяснить все явления оптики путем применения теории истечения надолго задержали развитие волновой теории. Один из великих основателей этой теории, Юнг, испытал на себе влияние авторитета Ньютона. Работа Юнга о теории цветов, являющаяся развитием взгляда Гюйгенса, была написана в стиле волновой теории. Однако, Юнг не решился критиковать теорию Ньютона прямо и пытался поставить волновую теорию под эгиду Ньютона.

В мемуаре 1802 года Юнг писал: „Те, кто примыкает ко всякой теории, получившей одобрение Ньютона — на что они имеют полнейшее право — будут вероятно расположены уделить внимание нижеследующим соображениям, тем более, что эти соображения, повидимому, согласуются со взглядами Ньютона. После каждого положения моей теории, я привожу такие цитаты, заимствованные из различных писем Ньютона, которые ему кажутся наиболее подходящими“.¹

¹ Oeuvres ophtalmologiques de Thomas Young, traduites et annotées par M. Tscherning. Copenhague, 1894, p. 217.

Несмотря на большую осторожность в проведении новых взглядов и несмотря на ссылки на авторитет Ньютона, Юнг был жестоко раскритикован лордом Брумом в статье в *Edinburgh Reviews*, где он, после подробного и несправедливого разбора гениального труда Юнга, писал: „Мы оставляем теперь слабые измышления этого автора, в которых мы безуспешно искали каких-нибудь следов эрудиции, остроумия и изобретательности, которые могли бы компенсировать очевидные недостатки здравого рассуждения“.

Несомненно, что критик чувствовал себя безнаказанным в выражении своих суждений только потому, что Юнг шел против авторитета великого Ньютона. Рядом ученых уже в первые периоды развития Гюйгенсовой теории были сделаны попытки объединения теории истечений и теории волнений в одно стройное целое, и на это обстоятельство впервые указывал великий геометр Н. И. Лобачевский.

В настоящее время при развитии теории квантов, являющейся видоизменением теории истечения, снова встает вопрос об объединении теории волнений и теории истечения, и мы видим, как надолго следы Ньютоновых мыслей сохранились в памяти человечества.

Заканчивая настоящую статью, мы хотели бы указать, что Ньютон, дав бессмертный памятник экспериментального искусства, дал также наглядные примеры построения физической теории.

Мы знаем теперь, что мы можем, с одной стороны, строить теории, исходя из принципов, являющихся по своему значению аналогичными геометрическим аксиомам и вытекающих из всех опытов, сделанных человечеством. На таком

основании построена современная термодинамика и теория относительности.

С другой стороны, теория может быть построена на основе механической или какой-нибудь иной модели, и таковыми теориями являются кинетическая теория газов, теория электронов, теория атома.

В „Началах“ Ньютон показал, как строится первый тип теории, для которой можно применить его слова: „Я не сочиняю гипотез“. В теоретических представлениях о свете Ньютон дал развитие молекулярной теории света, являющейся образцом второго вида теории. Таким образом, в области методологии науки работы Ньютона закладывают основы, капитальное значение которых сохраняется до сего времени.

А. А. ИВАНОВ

ЗНАЧЕНИЕ ОТКРЫТОГО НЬЮТОНОМ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ ДЛЯ АСТРОНОМИИ

РОЛЬ Ньютона в истории развития астрономии и, в частности, теоретической астрономии и небесной механики без всякого преувеличения должна быть признана совершенно исключительной. До Ньютона теоретическая астрономия находилась в младенческом состоянии, и только открытый Ньютоном закон всемирного тяготения явился прочной базой для правильного и плодотворного развития этого важнейшего отдела науки о небе.

В истории развития теоретической астрономии можно наметить три периода.

Первый из них тянется от начала астрономических, хотя бы и грубых, наблюдений над планетами нашей солнечной системы до времен Птолемея, жившего во II веке до н. э. Этот период может быть вообще охарактеризован как период статистического собирания материалов.

Только Птолемей, подводя итоги тем разрозненным попыткам, которые делались до него для установления гипотезы, дающей возможность определить видимые дви-

жения планет, и, систематизировав имевшийся в его распоряжении материал, создал свою геоцентрическую систему мира с деферентами и эпициклами. В этой системе для сколько-нибудь точного представления видимых движений планет приходилось признавать, что центр планеты движется по окружности круга небольших размеров — так называемому эпициклу — центр этого эпицикла по второму эпициклу, центр второго эпицикла по третьему эпициклу и т. д. и, наконец, центр последнего эпицикла по деференту, т.-е. по окружности большого круга, центр которого совпадает с центром земли или находится весьма близко от него. Геометрическая модель этой системы, конечно, слишком сложна. Придавая ей аналитическую форму, т.-е. переходя на язык математических формул, мы получаем не что иное, как эмпирический прием для представления явлений движения небесных тел. Вопрос о причине движений в этом случае не затрагивался. Но так как все же этим приемом можно было весьма удовлетворительно представлять видимые движения планет, то система Птолемея и продержалась весьма долго, именно до XVI и XVII столетий н. э. Период, когда господствовала система Птолемея, и является вторым периодом в истории развития теоретической астрономии.

Коперник (1473—1543), сдвинувший землю из центра вселенной и поставивший на ее место солнце, и Кеплер (1546—1601), открывший три закона движения планет вокруг солнца, о которых мы еще будем говорить, своими великими трудами и открытиями не только поколебали систему Птолемея, но и сбросили ее с того пьедестала, на котором она до тех пор находилась, и тем самым открыли двери к новой эпохе в истории развития теоретической

астрономии. Но окончательно начало нового периода в истории развития этой области астрономии было положено Ньютоном (1643—1727), открывшим закон всемирного тяготения, который в буквальном смысле слова создал новую эру в науке о небе. Этот новый период продолжается до настоящего времени.

Правда, одна область астрономии—астрофизика, опирающаяся в своих исследованиях на новейшие открытия физики, за последние годы отчасти уже пережила настоящий переворот. И хотя в области теоретической астрономии и небесной механики мы пока с весьма плодотворными результатами еще пользуемся законом Ньютона, тем не менее и тут, повидимому, намечается новая эпоха, характеристикой которой, возможно, будет служить господство теории относительности.

Цель нашего доклада—обрисовать то огромное значение, которое имели для астрономии открытый Ньютоном закон всемирного тяготения и многочисленные следствия этого закона, многие из которых были выведены самим Ньютоном и опубликованы им в его знаменитом сочинении: „Математические начала натуральной философии“.

Мы знаем, и это было также известно Ньютону, что планеты движутся вокруг солнца, спутники—вокруг планет и, в частности, луна—вокруг земли. Невольно, конечно, в уме всякого человека, привыкшего наблюдать явления природы, и в том числе небесные явления, возникает вопрос: почему эти планеты и спутники вечно совершают свои плавные движения вокруг своих центральных тел? Какая сила заставляет их совершать эти движения? Такие вопросы многие исследователи задавали себе, но понадобились столетия и даже тысячелетия, чтобы найти правиль-

ный ответ на эти вопросы. И даже гениальный Кеплер — на основании наблюдений Тихо Браге (1546—1601) доказавший, что движения планет вокруг солнца происходят по вытянутым, так называемым, эллиптическим кривым, причем солнце находится не в центре кривой, а несколько в стороне от центра, в так называемом ее фокусе, что площади, описываемые линией, соединяющей планету с солнцем в различных частях пути планеты в одинаковые промежутки времени, равны между собой, и что, наконец, квадраты времен обращения двух каких-нибудь планет вокруг солнца относятся между собой как кубы их средних расстояний от солнца — все же на указанные вопросы, которые мучительно вставали перед многими великими умами, ответить не мог.

Правильный ответ на эти вопросы, и притом в чрезвычайно простой форме, дал только Ньютон, этот истинный великан среди всех мыслителей. Ньютон много думал относительно падающих тел на земле. Это падение происходит под влиянием особой силы, заключающейся в земле. Эта сила есть притяжение землею всякого тела, находящегося на поверхности земли или вблизи ее поверхности; это есть так называемая сила тяжести.

Сила тяжести действует как на тела, находящиеся у самой поверхности земли, так и на тела, помещенные на высочайших горах. Отсюда можно заключить, что та же сила должна действовать и на тела, еще более удаленные от поверхности земли и находящиеся где-нибудь между землей и луной. А в таком случае не должно ли это притяжение земли действовать и на луну? До такого заключения можно было дойти путем размышлений. Но этого мало. Чтобы действительно убедиться, что одна и та же

сила притяжения земли действует и на падающие тела, и на луну, необходимо было это неопровержимым образом доказать. С другой стороны, если сила притяжения земли действует на луну, то почему она не падает на землю? Очевидно, есть еще и другая сила, которая этому противодействует. Эта другая сила есть некоторый первоначальный толчок, который заставляет луну двигаться с определенной скоростью. При существовании только этой силы луна двигалась бы по прямой линии. Притяжение же земли заставляет луну отклоняться от этой прямой линии и как бы падать на землю, а в конечном результате луна, под влиянием силы притяжения земли и первоначального толчка, должна описывать вокруг земли некоторую кривую. Чтобы доказать тождественность силы притяжения луны землею и силы тяжести, под влиянием которой тела падают на землю, необходимо было произвести некоторые вычисления. Для этого, в свою очередь, прежде всего необходимо было знать тот закон, по которому меняется сила тяжести или, в более общем виде, сила притяжения земли с изменением расстояния притягиваемого землей тела от центра земли. Ньютон принял, что сила притяжения земли обратно пропорциональна квадрату расстояния притягиваемого тела от земли. Уже Ньютону было известно, что падающее тело вблизи поверхности земли проходит в первую секунду 15 футов, а в первую минуту 54.000 футов.

С другой стороны, он знал, что расстояние центра луны от центра земли в 60 раз больше полудиаметра земли.

Пользуясь этими данными, легко вычислить, что если тело будет падать на землю с расстояния, равного расстоянию центра луны от центра земли, то оно в первую минуту должно пройти только 15 футов. Чтобы вычислить,

на какую величину луна в одну минуту падает на землю, иначе говоря, на какую величину луна в одну минуту при своем движении вокруг земли отклоняется от прямой линии, по которой она двигалась бы под влиянием первоначального толчка если бы на нее не действовало притяжение земли, необходимо было знать время обращения луны вокруг земли и расстояние между центрами луны и земли уже в каких-нибудь единицах длины, а следовательно необходимо было знать и величину земного полу диаметра в тех же единицах. Воспользовавшись для всех этих величин теми их значениями, которые были известны в то время, Ньютон сделал все необходимые вычисления и получил для падения луны на землю в одну минуту лишь 12 футов вместо 15. Эта первая его попытка доказать, что притяжение земли распространяется также и на луну, относится к 1666 году. Разница в 3 фута для Ньютона была слишком большой, неудача этой первой его попытки обезкуражила его, и он в течение пятнадцати лет не возвращался к вопросу о законе всемирного тяготения. Только в 1682 году он случайно услышал, что Пикаром незадолго перед тем было произведено новое градусное измерение и была получена новая величина земного радиуса. Эта новая величина отличалась от той, с которой он производил свои вычисления в 1666 году. Поэтому он, естественно, снова вернулся к заброшенному им вопросу, чтобы переделать свои старые вычисления. Когда эта новая работа подходила к концу, он от волнения, что стоит перед великим открытием, не мог докончить вычислений, и за него довел их до конца один из его друзей. Эти новые вычисления для падения луны на землю в течение одной минуты дали 15 футов, что самым блестящим образом

согласовалось со всеми теоретическими предположениями Ньютона и с наблюдениями над падающими телами на поверхности земли.

Таким образом, тождественность силы тяжести и силы притяжения луны землею была доказана, был открыт закон всемирного тяготения. Это было величайшее открытие, и огромное его значение еще более увеличивается благодаря необыкновенной простоте той формы, в которой представляется закон всемирного тяготения:

Все тела взаимно притягиваются, и это притяжение тем сильнее, чем больше масса каждого из тел; кроме того, это притяжение изменяется обратно пропорционально квадратам расстояний между телами.

От свойств тел это притяжение не зависит, и одинаковые массы металла, воды, дерева и т. п. оказывают совершенно одинаковые притяжения на какую-нибудь другую массу при одинаковых расстояниях.

Все, что относится к взаимному притяжению между землей и луной, с одинаковым правом распространяется на планеты и солнце, на планеты и их спутников. Во всей планетной системе действует один и тот же закон притяжения.

С открытием закона всемирного тяготения сразу открылась перед нами вся стройность и планомерность движений во всем планетном мире. Из чрезвычайно простой формулы, выражающей закон притяжения, уже как простое следствие, вытекают все три закона Кеплера, и притом в более общем виде. Небесные тела могут совершать движение вокруг центрального тела, в частности вокруг солнца, не только по замкнутым эллиптическим кривым, но и по разомкнутым кривым — параболическим, с одной

ветвью, уходящую в бесконечность, или гиперболическим, с двумя бесконечными ветвями. Теперь можно было вычислить силу тяжести на поверхности любой из планет, если только известны радиусы этих планет.

Закон всемирного тяготения давал уже весьма простую возможность определять движения тел нашей солнечной системы на сколько угодно лет вперед или назад, и притом движения истинные, а не только видимые, и разрешать всякого рода задачи, зависящие от движения этих тел. Из закона всемирного тяготения постепенно развились точные и строгие отделы астрономии — теоретическая астрономия и небесная механика. Целый ряд весьма разнообразных явлений, наблюдаемых в нашей вселенной, представляется как следствие той простой формулы, которая выражает закон всемирного тяготения. Многие из этих следствий были выведены самим Ньютоном тотчас после открытия им закона всемирного тяготения. Об этом мы будем говорить ниже. А сейчас, несколько забежая вперед, мы должны подчеркнуть, что открытый Ньютоном закон есть действительно закон всемирного тяготения. Ведь из того, что говорилось до сих пор, ясно пока, что этот закон действует внутри нашей планетной системы и одинаково относится к взаимному притяжению между Меркурием и солнцем, между Нептуном и солнцем, между землей и луной, между Юпитером и любым из его спутников и т. д. Но необъятная вселенная не ограничивается одной нашей планетной системой. В междוזвездном пространстве существуют и другие, более сложные системы. Какой же закон царит в этих отдаленных небесных глубинах? Имеет ли там место тот же закон притяжения? Впоследствии Гальфен и Дарбу в *Comptes Rendus*, vol. XXXIV, основываясь на тех свой-

ствах движений в системах двойных звезд, которые выведены из наблюдений, в изящной математической форме доказали, что в этих системах имеет место тот же закон притяжения, который был открыт Ньютоном, если только допустить, что притяжение зависит исключительно от расстояния и совершенно не зависит от направления, т.-е. от угла, составляемого этим расстоянием с некоторым постоянным направлением. Глешер в *Monthly Notices*, vol. XXXIX, показал, что уже сам Ньютон занимался таким вопросом в своих „Началах“, не применяя его, конечно, к двойным звездам, а лишь рассматривая его как теоретическую задачу. Во всяком случае мы с полным правом можем считать закон Ньютона действительно всемирным. Эта простая формула, впервые данная Ньютоном для солнечной системы, имеет свое применение во всей вселенной. Только величайший из великих людей мог объять одной простой формулой весь мир.

Но эта простота формулы, выражающей закон всемирного тяготения, не раз возбуждала некоторые сомнения, и не раз делались попытки несколько видоизменить этот закон, отчасти вследствие того, что оставались не получившими полного объяснения некоторые явления, наблюдаемые в нашей планетной системе, например, движение перигелия Меркурия, т.-е. ближайшей к солнцу точки его пути.

Однако, все эти попытки не привели ни к каким положительным результатам. С одной стороны, пытались ввести в рассмотрение не мгновенное распространение силы притяжения и в простой формуле Ньютона прибавить еще член, зависящий от скорости распространения силы тяготения. С другой стороны, вводили иную зависимость при-

тяжения от расстояния и считали, что притяжение обратно пропорционально не второй степени расстояния, а второй плюс очень небольшая дробь. Однако, если этими попытками удавалось лучше представить движение перигелия Меркурия, то вместе с тем ухудшалось представление других явлений, прекрасно объяснявшихся законом Ньютона. Таким образом, все эти попытки ничуть не могли поколебать чрезвычайно простого закона Ньютона. И наоборот, с другой стороны, можно привести из истории астрономии такие факты и явления, которые сначала казались противоречащими закону Ньютона, но при более внимательной и правильной их трактовке, являлись лишь новым блестящим подтверждением справедливости этого закона.

К такого рода явлениям относятся так называемые неравенства долгого периода в движении двух самых больших планет нашей солнечной системы — Юпитера и Сатурна. Дело в том, что задача о движении наших планет, исходным пунктом для решения которой служит закон Ньютона, в самом общем виде является задачей чрезвычайно трудной, и даже точное ее решение непосильно современному состоянию математического анализа. Лишь благодаря тому, что мы по отношению к нашим планетам при решении этой задачи можем пользоваться рядами, расположенными по степеням некоторых малых величин, может быть получено решение задачи, вполне удовлетворяющее точности наблюдений — которая в настоящее время является чрезвычайно большой — и, следовательно, прекрасно представляющее положение небесных тел в какие угодно моменты.

При таком решении задачи малые величины, начиная с некоторого порядка, отбрасываются. И вот, при изуче-

нии движения Юпитера и Сатурна, при удержании лишь малых величин второго порядка, оказалось, что между вычисленными на основании закона Ньютона и наблюдаемыми положениями этих тел получались систематические расхождения. Таким образом, можно было думать, что закон Ньютона не в силах объяснить движения этих планет. Однако, знаменитому Лапласу (1749—1827), достойным образом продолжавшему работу Ньютона по развитию и упрочению одного из важнейших отделов астрономии — небесной механики, удалось в 1784 году показать, что употреблявшиеся разложения в ряды были недостаточными и что необходимо было эти разложения продолжить и принять во внимание члены третьего порядка, которые и порождают в случае Юпитера и Сатурна неравенства долгого порядка с периодом в 850 лет. Когда такого рода вычисления были Лапласом проделаны, было достигнуто прекрасное согласие наблюдений с вычислениями, и непоколебимость Ньютонова закона всемирного тяготения была установлена.

Другой пример, блестящим образом подтвердивший закон всемирного тяготения, мы имеем в открытии Нептуна. В XIX столетии таблицы движения Урана, который в то время считался последней планетой в нашей солнечной системе, давали для этой планеты положения, систематически отличавшиеся от наблюдаемых. Опять можно было, повидимому, повести атаку против закона Ньютона, на котором были основаны таблицы движения Урана. Однако, и тут первому впечатлению не суждено было оказаться справедливым.

Другое объяснение этих разногласий между наблюдениями и вычислениями заключалось в том, что за Ураном

могла существовать новая планета, которая на движение Урана оказывала заметное влияние и действие которой на другие планеты, более удаленные от нее, совершенно не могло быть подмечено именно потому, что притяжение по закону Ньютона должно быть обратно пропорционально квадратам расстояний.

Здесь не место задерживаться дольше на истории открытия Нептуна, и без того всем известной, скажем только, что обширные вычисления и исследования Леверрье и Адамса, основанные на законе всемирного тяготения, самым блестящим образом подтвердили этот закон, и в 1846 году Нептун был открыт весьма близко от того места на небе, которое ему было предугадано этими вычислениями.

На других примерах подобного же рода здесь можно не останавливаться.

Итак, открытый Ньютоном закон всемирного тяготения можно считать прочно установленным. Он с честью выдержал всякие атаки, которые на него производились, он с честью вышел из всех испытаний, которым его подвергали. Открытие такого простого закона, имеющего притом всеобщее значение и действующего во всей звездной вселенной, есть величайшее открытие, какое только можно себе представить. Теперь все это кажется нам совершенно естественным, теперь мы сжились с этим законом Ньютона, но если бы мы могли мысленно поставить себя в условия XVII века, то тогда мы действительно оценили бы совершенно исключительное значение этого открытия. Но Ньютон не ограничился этим открытием, он сам стал применять его к целому ряду астрономических явлений, которые были известны в его время и над которыми он, несомненно,

очень много размышлял. И хотя одного открытия закона всемирного тяготения было бы достаточно, чтобы признать Ньютона величайшим гением, все же дальнейшие его астрономические исследования, основанные на этом законе, ввели в венец его славы целый ряд никогда неувядаемых цветов. Значение всех этих исследований знаменитый астроном Бессель охарактеризовал такими словами: „Люди сначала научались ходить, затем складывать слоги, потом читать, и только со времен Ньютона впервые научились понимать“. И действительно, Ньютон именно понял систему мира и научил других ее понимать. Рассмотрим же, хотя бы в самой краткой форме, какие астрономические явления он объяснил, исходя из своего закона. Для этого вкратце придется изложить содержание его „Математических начал натуральной философии“ и, главным образом, третьей книги этого его бессмертного сочинения.

„Математические начала натуральной философии“ Ньютона состоят из предисловия, введения и трех книг.

В предисловии Ньютон говорит, что его сочинение предлагается как математическое основание физики и что трудность физики состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления.

Введение посвящено изложению математических принципов естествознания и основных законов движения. Здесь мы встречаемся с определениями массы, количества движения, инерции и силы, абсолютного и относительного времени, пространства и движения. В этом же введении даны общеизвестные в настоящее время аксиомы и законы движения. Это введение составляет основы так называемой классической механики.

Первая книга посвящена вопросам, имеющим значение в астрономии. Именно в этой книге рассматривается движение тел под действием заданной силы притяжения, решаются задачи об определении положений тел, движущихся по определенным кривым или, как говорят астрономы, по определенным орбитам, на этих орбитах в заданный момент времени. В первой же книге рассматриваются вопросы о движениях на подвижных орбитах и о смещении перигелиев и ставится так называемая задача трех тел. В этой задаче трех тел одно тело является центральным, например, солнце, другое — одна из планет — есть тело, движение которого вокруг солнца мы хотим изучить, и третье — какая-нибудь другая из планет — есть тело, притягательное действие которого по закону Ньютона мы хотим учесть при изучении движения первой планеты. Первая планета носит название возмущенной, вторая — возмущающей. Действие второй планеты вызывает небольшие изменения в движении первой, которая двигалась бы по эллиптической орбите, если бы действием второй планеты мы пренебрегли. Эти изменения называются возмущениями, а измененное движение — возмущенным движением. В настоящее время мы представляем себе возмущенное движение происходящим по непрерывно меняющейся эллиптической кривой, причем меняются все величины или, как говорят, все элементы, определяющие эллиптическую кривую, т.-е. непрерывно меняются, но в весьма малые промежутки времени, весьма незначительно, ее размеры, ее форма, ее расположение в плоскости движения и, наконец, меняется положение самой плоскости движения в пространстве. Так вот, поставив задачу о трех телах, Ньютон, основываясь исключительно на геометрических построениях, дал общую

картину изменений элементов орбиты в возмущенном движении, которая в настоящее время во всех трактатах по небесной механике предлагается обычно в аналитической форме, так сказать, расшифровавшей подчас весьма трудные геометрические соображения Ньютона.

Вторая книга Ньютоновых „Начал“ посвящена рассмотрению вопросов о движении тел в сопротивляющейся среде, при различных предположениях о законах сопротивления, изложению основ гидростатики и гидродинамики и доказательству, что Декартова теория вихрей, долженствовавшая объяснить причину движения небесных тел, находится в противоречии с фактами и законами движения.

Третья и последняя книга „Математических начал натуральной философии“, носящая заглавие „Система мира“, является чрезвычайно интересной, в высшей степени захватывающей и самой ценной, с точки зрения астронома, частью этого выдающегося, быть может, не имеющего себе равных сочинения. Во введении к третьей книге Ньютон описывает ряд астрономических явлений, подробно сообщая различные, добытые из наблюдений сведения, касающиеся этих явлений. Здесь дело идет о движениях спутников Юпитера и о различных явлениях в этой системе, представляющей солнечную систему в миниатюре, о движении спутников Сатурна, о движении больших планет вокруг солнца, о законах Кеплера и, наконец, о движении луны.

Первая глава третьей книги посвящена объяснению причин как этих явлений, так и ряда других, каковы: неравенства в движении луны, приливы и отливы в океанах и открытых морях, фигура нашей земли, движения земной оси вращения в пространстве.

Вторая глава говорит о величине лунных неравенств и о движении так называемой линии лунных узлов, т.-е. линии пересечения плоскости движения луны с основною плоскостью, за каковую принимается плоскость движения земли или так называемая плоскость эклиптики.

Третья глава посвящена вопросу о величине морских приливов и отливов.

В четвертой главе идет речь о прецессии, т.-е. о медленных перемещениях земной оси в пространстве.

Наконец пятая, весьма обширная глава посвящена кометам, которые вводятся в общую схему движений, объясняемых законом всемирного тяготения.

Остановимся несколько подробнее на некоторых из вопросов, рассмотренных и разрешенных Ньютоном в его „Началах“.

О движении планет вокруг солнца, о законах Кеплера, как следствии из закона Ньютона, о тождестве силы притяжения луны землей с силой тяжести уже достаточно сказано.

Скажем несколько слов об одном из главных неравенств в движении луны, именно о так называемой вариации, которая была открыта по наблюдениям Тихо Браге.

Ньютону необходимо было показать, что неравенства луны, в частности вариации, являются следствием закона всемирного тяготения и не требуют иного объяснения кроме влияния возмущающих сил. В случае движения луны вокруг земли, солнце является возмущающим телом, и его возмущающее действие обуславливает непрерывные изменения орбиты нашего спутника. Величина вариации периодически меняется: она равна нулю, когда солнце, луна и земля находятся на одной линии или когда линии луна —

земля и солнце — земля взаимно перпендикулярны, и достигает максимума как раз при промежуточных положениях. Амплитуда изменений вариации равняется $39'$.

Задача о движении луны и о ее неравенствах есть труднейшая задача небесной механики. Однако, Ньютон введя ряд упрощений, состоящих, например, в том, что он принял движение луны вокруг земли круговым, а притяжение солнца на луну одинаковым во всех частях ее орбиты, пренебрег квадратом возмущающих сил и т. п., и путем чрезвычайно остроумных соображений, основываясь на геометрических построениях, получил решение задачи и для амплитуды вариации нашел $35'$ вместо выведенных из наблюдений $39'$. Такое согласие при всех указанных выше условиях следует признать в высшей степени удовлетворительным, и Лаплас этот вывод Ньютона считал одним из самых замечательных мест его „Начал“.

Достоинно упоминания изучение Ньютоном фигуры земли. Он впервые теоретически показал, что форма земли не может быть строго сферической и вывел зависимость между сжатием земли и отношением центростремительной силы на экваторе к силе тяжести. Подробно останавливаться на выводах Ньютона не место в докладе, который имеет целью осветить перед широкой аудиторией значение для астрономии работ Ньютона. Упомянем только, что в этом вопросе исходным пунктом был закон тяготения, что Ньютон принял землю за однородное тело и, доказав путем ряда остроумных соображений, что земля не может иметь формы шара, принял ее за эллипсоид вращения и нашел, что сжатие этого эллипсоида должно равняться $\frac{5}{4}$ отношения центростремительной силы на экваторе к силе тяжести. Это

отношение им определено совершенно точно: оно равно $\frac{1}{288}$. Отсюда он получает величину сжатия для однородной земли, именно $\frac{1}{290}$. Это есть один из пределов сжатия земли и именно высший.

Приливы и отливы, которые до Ньютона старались объяснить вращением земли, он опять-таки выводит как следствие закона всемирного тяготения. Воды океанов подчинены тому же притягательному действию солнца и луны, которое имеет место и по отношению к твердым массам земли, и Ньютон находит объяснение всех подробностей, наблюдаемых в явлениях приливов и отливов.

Явление прецессии он трактует следующим образом: он считает, что эллипсоид представляющий землю, может быть рассматриваем как шар с избытком вещества в виде экваториального кольца; этот избыток вещества он разбивает на части, каждую из них уподобляет спутнику, вращающемуся вокруг земли, и применяет к этой задаче законы отступательного движения узлов спутников на орбите главного тела под влиянием возмущающих сил — в данном случае отступательного движения узлов земного экватора на эклиптике, т.-е. так называемых равноденственных точек, под влиянием притяжения солнца и луны. Таким образом, Ньютон впервые дал теоретическое объяснение явления прецессии или предварения равнодействий.

Наконец, Ньютон с полной убедительностью показал, что и кометы являются также небесными телами, и, постоянно исходя из геометрических соображений, дал способ определения элементов параболической кометы по трем наблюдениям, подробно разработанный в аналитической форме в новейшее время академиком А. Н. Крыловым.

Свой способ Ньютон иллюстрировал примерами. Но из закона Ньютона следует, что кометы могут двигаться не только по параболическим, а также по эллиптическим орбитам, и мы в настоящее время знаем целый ряд так называемых периодических комет, движущихся вокруг солнца по эллиптическим кривым.

Подведем теперь итоги всему сказанному.

Ньютон, открыв закон всемирного тяготения, тотчас же понял, что он может быть применен к объяснению целого ряда явлений в нашей планетной системе, причина которых оставалась до тех пор неизвестной. К таким явлениям относятся эллиптические движения небесных тел, неравенства в движении луны, приливы и отливы океанов, медленные движения земной оси в пространстве, возмущения планет, движения узлов орбит небесных тел, характер орбит комет. Однако, применение великого закона к объяснению этих явлений требовало столько же, если не больше, времени и напряжения умственных сил, как и самое открытие закона, и в этих применениях и в дальнейших развитиях действительно выявились истинная мощь Ньютона и острота и глубина его мысли. После открытия своего закона, Ньютон в течение четырех лет занимался его применением и дальнейшим развитием и в 1686 году выпустил в свет великое творение, можно сказать, даже величайшее, которое только мог создать человеческий ум, так как оно остается до сих пор единственным и непревзойденным. Это сочинение — „Математические начала натуральной философии“. Один великий ученый про Ньютона сказал: „С удивлением спрашиваем мы: к какому роду принадлежал человек, могший размахивать этим гигантским мечом, который другие едва могли только приподнимать с земли?“.

Но при всем величии своего гения, Ньютон отличался необыкновенною скромностью. Однажды, когда он находился в одном обществе, и его друг Галлей заговорил о великой славе, которой он достиг, Ньютон сказал: „Я не знаю, что люди думают о моих работах, но самому себе я представляюсь мальчиком, который играет на берегу моря и радуется, если ему тут или там удастся найти несколько более гладкий камешек или несколько более красивую раковину, в то время как перед ним лежит неисследованный великий океан истины“.

За двести лет, протекших со смерти Ньютона, астрономия сильно шагнула вперед и во многих областях достигла необычайных успехов. Теоретическая астрономия и небесная механика, которым Ньютон положил начало, развились в стройные дисциплины. Иногда даже может казаться, что сделано так много, что ничего больше не остается делать. Но не будем обольщаться таким самообманом и, памятуя только что приведенные слова Ньютона, не забудем, что и теперь мы на каждом шагу наталкиваемся на те или другие препятствия, на тот или другой факт, не поддающийся объяснению — словом, что все еще перед нами лежит великий океан неисследованного, и, следуя великому учителю, будем стараться мало-по-малу, по мере сил своих, завоевывать хотя бы небольшие области этого великого океана истины.



-395789-

Депозитарий

1927

RLST



0000000534352

Цена 1 рубль