

ГЛАВА 3

НОВЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

Сочинение это нами предлагается как математические основы естествознания [65, с. 3].

3.1. Формирование динамики на основе понятия количества движения

Идея количественной оценки движения тел, появившаяся в трудах оксфордских и парижских ученых в средние века, получила дальнейшее развитие в XVII в. Это было время, когда большинство видных математиков и механиков занимались проблемами движения тел. Изучение движения планет, движения брошенных тел, колебаний маятника, удара тел математическими методами было невозможно без использования некоторых количественных характеристик, в качестве которых стали выступать *время, скорость движения, пройденный путь, масса* («величина») *тела*.

Особую роль во второй половине XVII в. стало играть введенное Декартом понятие *количества движения* (произведение «величины тела» на скорость). Оно имело простое математическое выражение, вполне определенный физический смысл, с ним можно было совершать математические операции, и это была уже не кинематическая, а динамическая (скорость с учетом массы) характеристика движения тела. После добавления Гюйгенсом, Уоллисом и Реном свойства направленности, понятие количества движения оказалось одним из важнейших в динамике Ньютона, Лейбница, И. Бернулли и к началу XVIII в. окончательно укоренилось в терминологии механики в качестве одной из основных мер (количественных характеристик) движения.

В 1663 г. на средства Генри Люкаса в Тринити-колледже Кембриджского университета была учреждена кафедра математики, пер-

вым профессором которой стал член Королевского общества, богослов, блестящий знаток математики и древних языков (латынь, греческий¹, арабский) Исаак Барроу. Биографы Ньютона утверждают, что 33-летний профессор Барроу и студент Исаак Ньютон познакомились в апреле 1664 г.², когда последний, изучив «Геометрию» Декарта, работы Схоутена, Уоллиса, Грегори, Слюза, был уже искушенным математиком. Через пять лет Барроу передал полномочия профессора люкасовской кафедры своему талантливому 26-летнему ученику и вскоре был назначен духовником короля, а через три года — магистром (главой) Тринити-колледжа. В «Оптических и геометрических лекциях», изданных Барроу в 1674 г., он выражал благодарность своему младшему коллеге за сотрудничество и сообщал: «Наш коллега д-р Исаак Ньютон (муж славный и выдающихся знаний) просмотрел рукопись, указал несколько необходимых исправлений и добавил нечто и своим пером, что можно заметить с удовольствием в некоторых местах» [12, с. 21].

И. Барроу и Б. Пуллейн оказали большое влияние на формирование научных интересов, взглядов, на выбор жизненного пути молодого Ньютона. Далее круг его научных интересов, отражая запросы того времени, расширялся естественным путем. Однако достижения Ньютона в области классической механики, математического анализа, оптики, небесной механики имели революционное значение. Позднее они стали отправной точкой для формирования современного научного мировоззрения и сделали Ньютона одним из самых выдающихся людей в истории мировой науки.

В 1687 г. Ньютон издал свой знаменитый трактат «Математические начала натуральной философии»¹, ставший итогом более чем двадцатилетних размышлений автора об устройстве мироздания, о возможности строгого обоснования законов природы, законов движения тел математическими средствами. Размышлений, навеянных изучением идей далеких предшественников, трудов Галилея, Декарта, Роберваля, Борелли, Уоллиса, Меркатора, Гюйгенса, Рена, Гука. Как некогда Платон, Аристотель, Евклид, Декарт в этом сочинении Ньютон пытался заложить основы целостной теории — философии естествозна-

¹До этого он был профессором греческого языка.

²Тьютором, то есть наставником Ньютона-студента, был профессор греческого языка Бенджамин Пуллейн, под руководством которого в январе 1695 г. Ньютон окончил университет со степенью бакалавра искусств.

¹Инициатором издания «Начал» был Э. Галлей.

ния (точнее физики). Однако делал он это языком не философских, а физико-математических понятий. Как и большинство его предшественников и современников, он стремился к предельной ясности понятий, постановок задач, максимальной общности методов и получаемых результатов. По традиции эпохи он придерживался *аксиоматического* метода построения теории и геометрических доказательств. А в арсенале математики второй половины XVII в. были уже не только методы алгебры и евклидовой геометрии, но и «геометрии бесконечно малых», которой пользовались Уоллис, Паскаль, Гюйгенс, Лейбниц и в развитие которой Ньютон внес свой значительный вклад.

«Начала» Ньютона состоят из трех книг, главной из которых автор считал последнюю — «О системе мира», — где строится научная картина мира, формулируется закон всемирного тяготения и получается математическое выражение для силы взаимного притяжения тел — «силы, что движет Мирами». Рассмотренные здесь задачи движения небесных тел (планет и их спутников) представляли большой интерес и во многом определили бурное развитие небесной механики и астрономии XVIII в.

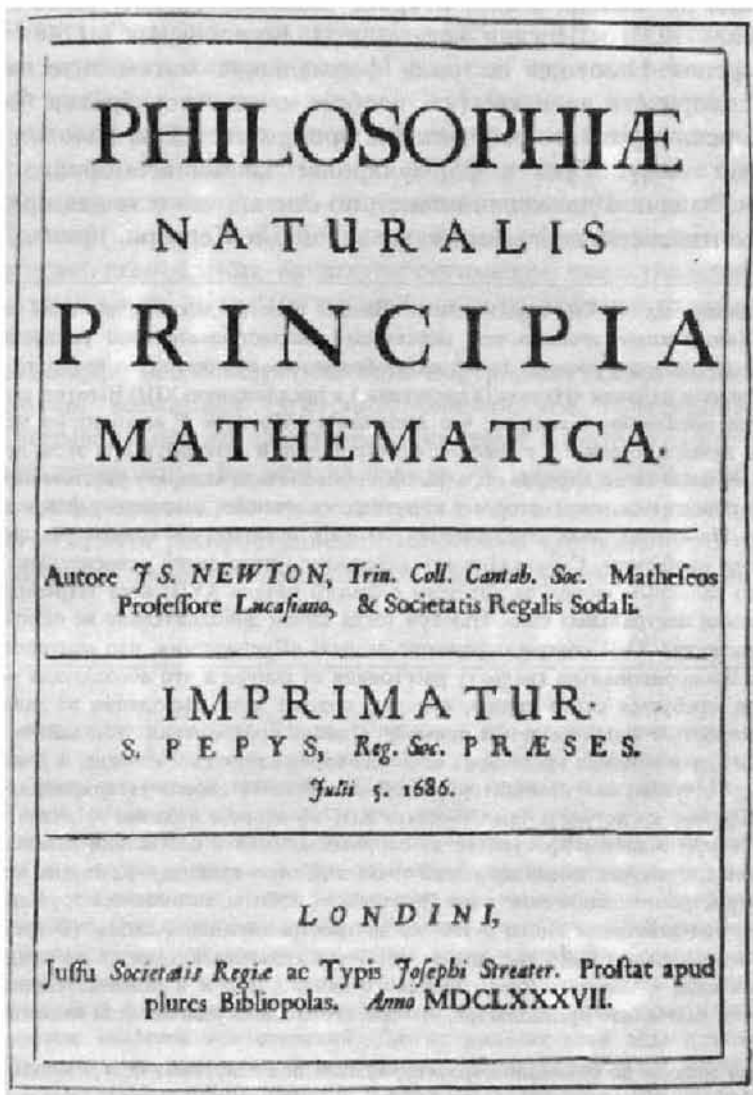
Первые две книги «Начал», имеющие одинаковое название «О движении тел», являются теоретическим фундаментом третьей. Но как основы теоретических построений Ньютона, именно они и представляют для нас наибольшее значение. Особенно предварительный раздел («Предисловие автора», «Определения», «Аксиомы или законы движения») первой книги¹, в котором сосредоточены основные механические понятия и законы, составившие основу классической механики. На первый взгляд может показаться странным: то, что сейчас в первую очередь ставится в заслугу Ньютону, сам автор не считал самым важным. Но в действительности в этом нет ничего удивительного. Ньютон пользовался известными для его современников понятиями, законами, естественно, не подозревая о тех далеко идущих последствиях, к которым привели сделанные им уточнения понятий, добавления к законам, его собственные взгляды на механику Галилея, Декарта, Уоллиса, Гюйгенса.

Ньютон очень основательно подошел к построению своей динамики. Но, тем не менее, в «Началах» у него нет определения одной из

¹Во второй книге рассматриваются задачи механики жидкости и газа, движение тел с учетом сопротивления среды. По словам К. Трусделла, эта книга является «полностью оригинальной, и многое в ней ошибочно» [296, с. 91].



Исаак Ньютон



Титульный лист первого издания «Начал» Ньютона

основных кинематических характеристик — *скорости*. Это означает, что сложившееся к тому времени понятие скорости было общепринятым и, с его точки зрения, не нуждалось в определениях¹. Как уже отмечалось, эти представления о скорости не совпадают с современными. В первом предварительном разделе первой книги даются определения массы, количества движения, инерции, приложенной и центростремительной сил.

«Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее» [65, с. 23]. С современной точки зрения это определение представляется ущербным, так как масса определяется через плотность, то есть массу единицы объема. С исторической же точки зрения такое определение массы вполне логично, так как, следуя «корпускулярной философии» Декарта и Бойля, Ньютон считал, что плотность определяется количеством «первоначальных частиц» (атомов). Об этом свидетельствует детальная картина внутреннего строения вещества, изложенная им в приложениях к «Оптике»² («Вопросы»). Аналогичная точка зрения излагалась и в курсах физики конца XVII – начала XVIII вв. В частности, в очень популярном и многократно издававшемся³ «Трактате по физике» [277] известного французского профессора Жака Рохо — активного проповедника картезианства. Таким образом, по сути, ньютоновская «масса» мало отличается от декартова «количества материи» и лейбницевой «величины тела», использовавшихся учеными до появления «Начал».

«Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе» [65, с. 24]. Декарт под количеством движения понимал произведение количества материи на скорость. Определения Ньютона и Декарта формально совпадают. Однако, как и Гюйгенс, Ньютон ясно осознавал векторный характер скорости, а значит, и количества движения, ставшего в его динамике основной мерой движения. **«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 прямо-**

¹ Более подробно об этом — в работах Л. Л. Кульвеевса [51, 52].

² Издана в 1704 г.

³ Во Франции переиздавался почти 60 лет (с 1671 по 1730 гг.), в Англии с 1697 по 1718 г. издавался четыре раза [187, с. 263].

линейного движения» [65, с. 25]. Ньютон добавляет, что «эта сила всегда пропорциональна массе и если отличается от инерции массы, то только воззрением на нее. Из-за инерции материи . . . всякое тело лишь с трудом выводится из состояния покоя или движения. Поэтому **«врожденная сила» могла быть весьма вразумительно названа «силой инерции»** [65, с. 25]. Ньютон подчеркивает, что эта сила проявляется как «сопротивление» и как «напор». «Сопротивление приписывается обыкновенно телам покоящимся, напор — телам движущимся» [65, с. 26]. То, что Ньютон называет инерцию тел силой, — вполне в духе времени. Об этом свидетельствует и лейбницева теория сил. Сам термин «сила» использовался в механике со времен Аристотеля, последовательно принимая различные смысловые оттенки, начиная с простейшего синонима — *величина*. Гораздо ближе к современному следующие два определения силы.

«Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения» [65, с. 26]. Ньютон подчеркивает, что в отличие от «врожденной силы» «приложенная сила» «проявляется единственно только в действии и по прекращении действия в теле не остается». В теле остается только врожденная сила инерции. **«Происхождение приложенной силы может быть различное: от удара, от давления, от центростремительной силы»**.

«Центростремительная сила есть та, с которою тела к некоторой точке, как и к центру, притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся» [65, с. 26]. По Ньютону, «такова сила тяжести, под действием которой тела стремятся к центру Земли; магнитная сила, которою железо притягивается к магниту, и та сила, каковою бы она не была, которою планеты постоянно отклоняются от прямолинейного движения и вынуждаются обращаться по кривым линиям. Камень, вращаемый в праще, стремится удалиться от вращающей пращу руки и этим своим стремлением натягивает пращу тем сильнее, чем быстрее вращение, и как только ее пустят, то камень улетает. Силу, противоположную сказанному стремлению . . . я и называю центростремительной» [65, с. 27].

Ньютон различает три рода величин в центростремительной силе: *абсолютную, ускорительную и движущую*. «Абсолютная величина центростремительной силы есть мера большей или меньшей мощности самого источника ее распространения из центра в окружающее его про-

странство» [65, с. 27]. **«Ускорительная величина центростремительной силы есть ее мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течение данного времени»** [65, с. 28]. **«Движущая величина центростремительной силы есть ее мера, пропорциональная количеству движения, которое ею производится в течение данного времени»** [65, с. 28]. **«Эти понятия, — добавляет Ньютон, — должно рассматривать как математические, ибо я еще не обсуждаю физических причин и места нахождения сил»** [65, с. 28].

Отдельное определение центростремительной силы потребовалось в связи с особым характером ее действия. В отличие от «контактных» сил удара, давления, упругости, она действует на расстоянии, постоянно меняет свое направление и величину, как следствие изменения скорости. В результате анализа было выяснено, что независимо от происхождения, от природы центростремительной силы, ее действие на тело в данной точке может быть измерено либо «ускорительной величиной», то есть «приложенной» силой, рассчитанной на единицу массы, либо самой «приложенной» силой, названной «действующей величиной». Понятие силы является одним из важнейших в механике Ньютона, целью которой было **«... по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления»** [65, с. 3].

Далее Ньютон приводит пояснение понятий *времени, пространства, движения* — понятий общеизвестных, но в силу того, что они постигаются нашими чувствами, они требуют определений. При этом он делит эти понятия на «абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные».

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

Относительное, кажущееся, или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год» [65, с. 30].

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

[12]

A X I O M A T A

S I V E

L E G E S M O T U S

Lex. I.

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

Projectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistencia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohaerendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilincis, non cessat rotari nisi quatenus ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

Lex. II.

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea movebatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo oblique adicitur, & cum eo secundum utriusq; determinationem componitur.

Lex. III.

[13]

Lex. III.

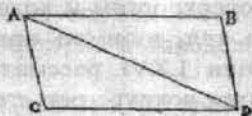
Actiōni contrariam semper & æqualem esse reactionem : sive corporum duorum actiōnes in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.

Quicquid premit vel trahit alterum, tantundem ab eo premitur vel trahitur. Siquis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi allegatum trahit, retrahetur etiam & equus æqualiter in lapidem: nam funis utriusque distentus eodem relaxandi se conatu urgebit Equum versus lapidem, ac lapidem versus equum, tantumque impedit progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocumque mutaverit, idem quoque vicissim in motu proprio eandem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem pressionis mutue) subibit. His actionibus æquales fiunt mutationes non velocitatum sed motuum, (scilicet in corporibus non aliunde impeditis:) Mutationes enim velocitatum, in contrarias itidem partes factæ, quia motus æqualiter mutantur, sunt corporibus reciproce proportionales.

Carol. I.

Corpus viribus conjunctis diagonalem parallelogrammi eodem tempore describere, quo latera separatim.

Si corpus dato tempore, vi sola *M*, ferretur ab *A* ad *B*, & vi sola *N*, ab *A* ad *C*, compleatur parallelogrammum *ABDC*, & vi utraq; ferretur id eodem tempore ab *A* ad *D*. Nam quoniam vis *N* agit secundum lineam



AC ipsi *BD* parallelam, hæc vis nihil mutabit velocitatem accedendi ad lineam illam *BD* a vi altera genitam. Accedet igitur corpus eodem tempore ad lineam *BD* si vis *N* imprimatur, siue non, atq; adeo in fine illius temporis reperietur alicubi in linea illa

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное: так, например, протяженное пространство подземного воздуха или надземного, определяемых по их положению относительно Земли. По виду и величине абсолютное и относительное пространство одинаковы, но численно не всегда остаются одинаковыми» [65, с. 30].

«Как неизменен порядок частей времени, так неизменен и порядок частей пространства. . . . время и пространство составляют как бы вместилища самих себя и всего существующего» [65, с. 32].

«Место есть часть пространства, занимаемая телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным» [65, с. 31].

«Во времени все располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве — в смысле порядка положения. По самой своей сущности они суть места, приписывать же первичным местам движения нелепо. Вот эти-то места и суть места абсолютные, и только перемещения из этих мест составляют абсолютные движения» [65, с. 32].

Со времен Ньютона представления о времени — об одной из основных научных и житейских категорий — в классической механике остаются практически неизменными. Определить это понятие через какие-то более ясные и более фундаментальные категории не удастся, поэтому, как правило, ограничиваются перечислением установленных свойств: время непрерывно, всегда и везде одинаково, течет в одном направлении, не зависит от влияния природы, человека или технических средств. Первая попытка пересмотра сложившихся представлений была связана с появлением теории относительности А. Эйнштейна. В 70-х гг. двадцатого столетия профессор Николай Александрович Козырев (первооткрыватель вулканизма на Луне) в своей теории текущего на планете Земля времени утверждал, что время 1) обладает направленным ходом и плотностью; 2) поглощается и излучается материальными телами; 3) экранируется, заслоняется (стеклом, металлом) или отражается (зеркалом); 4) не преломляется; 5) не распространяется, как свет, появляется сразу во всей Вселенной; 6) взаимодействуя с веществом звезд, является источником их энергии; 7) не является материальным носителем. Вряд ли эти утверждения можно считать истиной в последней инстанции. Наука о Времени делает следующие шаги, развивающие взгляды Ньютона.

Понятий *системы отсчета* или *инерциальной системы* в «Началах» нет, но по существу координатная система используется. Роль координат выполняют взаимные расстояния тел или точек. Кроме этого, Ньютон вводит понятие «места», которое, в отличие от «положения»¹ тела и «объемлющей его поверхности», имеет определенную величину.

«Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое; относительное — из относительного в относительное же» [65, с. 31]. «По положениям и расстояниям предметов от какого-либо тела, принимаемого за неподвижное, определяем места вообще, затем и о всех движениях судим по отношению к этим местам, рассматривая тела лишь как переносящиеся по ним. Таким образом, вместо абсолютных мест и движений пользуются относительными . . . » [65, с. 32]. Далее автор говорит о реальности абсолютного места и абсолютного движения и о сложности разграничения абсолютных и относительных понятий. «Причины происхождения, которыми различаются истинные и кажущиеся движения, суть те силы, которые надо к телам приложить, чтобы произвести эти движения. Истинное абсолютное движение не может ни произойти, ни измениться иначе, как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительное движение тела может быть и произведено и изменено без приложения сил к этому телу . . . » [65, с. 34].

Введенные понятия позволили Ньютону сформулировать во втором предварительном разделе «аксиомы или законы движения».

Закон I. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не принуждается 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.

После законов идут Следствия: правило параллелограмма для сложения сил², законы сохранения количества движения и скорости цен-

¹Понятие «положение» у Ньютона ассоциируется с ориентацией тела в пространстве.

²«При силах совокупных тело описывает диагональ параллелограмма в то же самое время, в течение которого оно описало бы стороны такового

тра тяжести¹, механический принцип относительности. Вводная часть «Начал» заканчивается изложением элементов теории удара. Ньютон замечает, что результаты Гюйгенса и Рена верны только для «абсолютно твердых или вполне упругих тел». Результаты же экспериментов самого автора показывают, что скорость тела после удара меньше его скорости до удара. Ньютонская идея введения коэффициента восстановления (в теории удара) позднее стала общепринятой, а установленные им значения коэффициента для некоторых соударяющихся тел близки к современным.

В силу научных традиций той эпохи, законы не имели математических выражений и формулировались только словесно. Это обстоятельство породило массу вопросов проницательных читателей. Особенно это касалось второго закона, который многочисленные комментаторы «Начал» упорно интерпретировали формулой

$$m\vec{a} = \vec{F},$$

считая, что, говоря об изменении движения, Ньютон имел в виду изменение количества движения, а изменение — это производная. Если же под изменением автор понимал разность за некоторое время Δt , то тогда под силой понимался импульс силы $\vec{F}\Delta t$. Но все эти попытки «уберечь Ньютона от якобы сделанной им ошибки», как писал И. Б. Коэн, бессмысленны. Ньютон пользовался научными категориями своего времени, они были понятны его современникам. И только после Ньютона и благодаря ему стало возможным уточнение законов механики до современных представлений.

Ньютон был одним из первооткрывателей законов механики, автором окончательной редакции их текста. Но то, что он не был единственным и самым первым, ни в коей мере не умаляет его заслуг в формировании математической теории движения тел, в ее успешном приложении к решению многих актуальных проблем небесной и земной механики. Законы конкретных движений (движение планет, падение,

при раздельно действующих силах» [65, с. 55]. По мнению А. Н. Крылова, в современной терминологии — это правило параллелограмма для сложения количеств движения.

¹ «Следствие IV. Центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел друг на друга не изменяет ни своего состояния покоя, ни движения; поэтому центр тяжести системы всех действующих друг на друга тел при отсутствии внешних действий и препятствий или находится в покое, или движется равномерно и прямолинейно» [65, с. 47].

движение по наклонной плоскости, удар, колебания), открытые его предшественниками и современниками, он обобщил на случай произвольных движений и взаимодействий тел. В этом суть одного из важнейших научных достижений Ньютона.

В отличие от Декарта, стремившегося к построению глобальной научной доктрины устройства Мира, Кеплер, Галилей, Уоллис, Гюйгенс, Ньютон и многие их современники сосредоточили свое внимание на решении конкретных проблем: движения планет и их спутников, движения тел на Земле, соударения и колебаний тел, влияния сопротивления среды. . . . Идея всеобщего взаимного притяжения тел во второй половине XVII в. была если не общепринятой, то хорошо известной. Причина этого взаимодействия и его величина были неизвестны. На какое-то время ответы на вопросы давала гипотеза эфирных вихрей Декарта. Но даже после дополнительных «реконструкций» последователями Декарта (в том числе Гюйгенсом) она казалась слишком сложной и мало убедительной. Следуя Галилею, Ньютон предложил не обсуждать вопрос о причинах притяжения тел, а ограничиться определением величины, то есть силы этого взаимодействия. Ведь именно сила¹, по сложившимся представлениям, и является причиной и источником криволинейного и неравномерного движения.

Вопрос о величине силы притяжения Ньютон решает очень оригинальным чисто математическим методом. Движение планеты ассоциируется с круговым движением шарика под действием центростремительной силы (притяжения). В соответствии со вторым законом величина этой силы должна быть пропорциональна изменению количества движения. Если рассматривать движение по окружности как предельное движение по вписанной в окружность ломаной линии, то движение по ломаной можно рассматривать как последовательность прямолинейных движений с изменением направления скорости в угловых точках. Проведя через угловую точку ломаной касательную к окружности, можно считать, что шарик, двигавшийся по звену ломаной, в угловой точке ударяется о касательную и продолжает движение в другом направлении (по следующему звену ломаной). Из законов абсолютно упругого удара и геометрических соображений, после предельного перехода от ломаной к окружности Ньютон получает выражение для центробежной (выталкивающей шарик-планету в наружную сто-

¹ «Мертвая сила» — у Галилея и Лейбница, «движущая сила» — у Ньютона.

рону орбиты) силы, прекрасно согласующееся с результатом Гюйгенса. Но для удержания шарика на его орбите необходима противоположно направленная и равная по величине центростремительная сила. Далее он показывает, что отношение центростремительных сил планет в силу третьего закона Кеплера обратно пропорционально квадратам радиусов орбит. Таким образом получено ядро будущего закона всемирного тяготения.

Говоря современным языком, Ньютон показал, что центростремительное ускорение определяется формулой

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

Но, по теории Галилея, тело, падающее с высоты $h = a\frac{t^2}{2}$ за одну секунду, должно иметь ускорение a , численно равное $2h$.

Проведенные в 1666 г. расчеты по этим формулам показали расхождение результатов. Но после уточнения Ж. Пикаром величины радиуса Земли¹ Ньютон получил совпадение результатов, подтверждающее верность его вывода о величине силы взаимного притяжения тел.

Детальный анализ «Начал», как и всех особенностей научного мировоззрения И. Ньютона, выходит за рамки данной работы. Однако следует отметить, что особая роль «Начал», взгляды Ньютона на устройство мироздания, на содержание основных физических законов, на роль математики в создании новых научных теорий были настолько значительными в истории классической механики, что несмотря на пристальное внимание историков науки к личности Ньютона и его творчеству², эта тема заслуживает дальнейших исследований.

«Начала» — это не только один из истоков современной теоретической механики, но и блестящий пример наглядного решения механико-математическими методами огромного количества не только интересных, но и практически важных проблем. Задачи, решаемые Ньютоном во всех трех книгах его «Начал», составили фундамент многих самостоятельных разделов современной науки: небесной механики,

¹В 1675 г. Жак Пикар опубликовал свои результаты о новой величине радиуса Земли в «Philosophical Transactions», но Ньютон, занятый в этот период оптическими исследованиями, узнал о них от секретаря Лондонского Королевского общества Г. Ольденбурга позднее.

²Из российских наиболее известны исследования А. Н. Крылова, С. И. Вавилова, В. С. Кирсанова.

баллистики, теории колебаний, механики сплошной среды и других. В отличие от механических теорий предшественников механика Ньютона — это первый образец новой механики, построенной на фундаменте собственного понятийного аппарата, единых физических законов, математического аппарата геометрии и исчисления бесконечно малых. Это инструмент для решения многих задач техники и естествознания.

Была ли альтернатива ньютоновскому развитию механики на основе понятия количества движения? На этот вопрос можно ответить утвердительно. Известно, что в основу построения математической модели вместо второго закона Ньютона может быть положена теорема об изменении кинетической энергии. Если в качестве меры механического движения принять кинетическую энергию, а мерой взаимодействия тел считать не силу, а работу силы на некотором перемещении, то и второй закон, и теорема об изменении энергии могут быть сформулированы единообразно: изменение меры движения точки равно мере взаимодействия ее с окружающими телами.

Этот второй путь формирования механики был наглядно продемонстрирован Лагранжем в его знаменитой «Аналитической механике» через сто лет после выхода «Начал». И этот путь пролегал через творчество Галилея, Декарта, Гюйгенса, Лейбница, И. и Д. Бернулли, Даламбера. Вывод о сохранении величины, называемой ныне *кинетической энергией*, для движения точки в центральном поле сил мы видим в «Началах» (Книга первая, предложение XL). Однако ни Ньютон, ни еще ранее Гюйгенс в его *теории удара* не придавали этому результату особого значения, статуса закона. И только Лейбниц, ссылаясь на авторитет Галилея, предложил считать мерой движения не декартово количество движения, а величину mv^2 , названную им «живой силой». Он же первым и сформулировал закон сохранения «живых сил», и дал словесную формулировку теоремы об изменении кинетической энергии. Работы И. и Д. Бернулли укрепили в механике понятие «живой силы» и сделали естественным переход от второго закона к теореме энергии в ее математическом выражении.

Понятие же работы силы, то есть произведение силы на ее перемещение по линии действия, является одним из старейших в механике, одним из основных в «кинематической статике». Оно использовалось для определения условий равновесия тел и систем тел. Поэтому представляется вполне естественным использование его и в выражении условий

движения тел. Ведь и равновесие, и движение тел осуществляется под действием сил. Но этот факт был осмыслен не сразу.

Путь формирования механики на основе понятия кинетической энергии («живой силы») был как бы запасным. Для подтверждения своих результатов И. Бернулди показывал, что их можно получить и из второго закона Ньютона. Но после Даламбера, установившего не одинаковость, но равноценность обоих мер движения, Лагранж убедительно показал, что оба пути построения механики равноправны.

В континентальной Европе «Начала» были встречены напряженным молчанием. Ньютон мало заботился о публикации своих научных результатов¹, и его имя не было столь популярным, как в следующие века. Тираж первого издания книги был невелик. Содержание книги, особенно математические доказательства, было трудным для понимания. Многие физические идеи Ньютона существенно отличались от ставших к тому времени привычными идей философии Декарта.

Через несколько десятилетий молчаливая оценка «Начал» сменяется одобрением, переходящим в восторг. Этому способствовали приоритетные споры² Ньютона с Гуком, Лейбницем и другими учеными, переиздание (1713, 1726) переработанных автором «Начал», включение важнейших ньютоновских идей в английский перевод³ «Трактата по физике» Рохо, издание Гравесандом в 1726 г. книги «Математические элементы натуральной философии»⁴ [197], выступления в поддержку ньютоновской теории Мопертюи (1732) и Вольтера (1738), издание «Механики» [92] Эйлера, перевод «Начал» на французский язык⁵.

¹Это привело к тому, что во второй половине жизни ему пришлось потратить много сил и времени для отстаивания своего приоритета в открытии закона всемирного тяготения, оптических законов, создании телескопа и исчисления бесконечно малых.

²Исторический анализ показывает, что в приоритетной борьбе он не всегда был объективен и справедлив к своим научным оппонентам. Особенно после 1703 г., когда Ньютон занял высокий пост Президента Лондонского Королевского общества.

³Осуществлен в 1723 г. Джоном Кларком.

⁴Виллем Якоб Стром с Гравесанде — голландский математик, секретарь голландского посольства в Лондоне (1715-1717), профессор Лейденского университета (1717-1742), член Лондонского Королевского общества (с 1715 г.). В этой книге подробно излагается содержание «Начал» с минимальным использованием математики.

⁵Перевод по инициативе Вольтера и при участии А. К. Клеро осуществила маркиза Г. Э. дю Шателе в 1759 г.

Механика Ньютона еще далека от современной классической механики. Но своим творчеством Ньютон подвел итог многовековых поисков всеобщих законов движения и взаимодействия тел, заложив, тем самым, основы дальнейшего развития научного естествознания и техники в русле математического моделирования.

Важную роль в формировании основ механики играли и идеи современника Ньютона – Лейбница. Научное наследие Ньютона и Лейбница стало основой для дальнейшего развития классической механики в трудах Вариньона, Я., И. и Д. Бернулли, Мопертюи, Эйлера, Даламбера и Лагранжа.

3.2. Теория сил в философии Г. В. Лейбница

Бурные политические (буржуазные революции), экономические, научные события XVII в. нашли отражение в формировании целого ряда новых философских доктрин, претендовавших на роль теоретической основы нового мировоззрения. Англичане Фрэнсис Бэкон и Томас Гоббс, французы Рене Декарт, Пьер Гассенди и Блез Паскаль, нидерландец Барух Спиноза, англичане Джон Локк, Исаак Ньютон, немец Готфрид Вильгельм Лейбниц стали основоположниками философских течений, захвативших умы просвещенной Европы и получивших дальнейшее развитие в следующих столетиях.

Формирование науки нового времени, естественно, происходило в рамках популярных философских концепций. Таким образом, теоретический аппарат новой механики создавался не только параллельно с рождением новой математики переменных величин и не только для утилитарного решения актуальных естественно-научных и технических проблем, но и под влиянием философских позиций ее создателей. Это наглядно подтверждается вкладом в механику Лейбница — одного из выдающихся философов конца XVII – начала XVIII вв., основоположника дифференциального и интегрального исчисления.

Лейбница нельзя исключать из списка основоположников теоретической механики хотя бы потому, что он является одним из родоначальников математики непрерывных величин и теории дифференциальных¹ уравнений, ставших основным аппаратом новой механики. Но его вклад не исчерпывается только этим. Теории движений и сил, ди-

¹Термин, введенный Лейбницем.