

УДК 531(092)

Сравнительная характеристика динамических концепций Ньютона и Лейбница

(к 300-летию со дня смерти Г.В. Лейбница)

В. И. Яковлев

Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, Пермь, Букирева, 15
iakovlev@psu.ru; 8(342) 2 39 62 98

Ю. Д. Еремеева

Пермский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 614990, Пермь, Букирева, 15
eremyl@mail.ru; 89922081430

Приведен сравнительный анализ динамических концепций И. Ньютона и Г.В. Лейбница. Выявлена схожесть и разносторонность результатов их исследований в области механики.

Ключевые слова: дифференциальное исчисление; сохранение количества движения; количество движения; сила; масса.

Теоретические истоки современной механики, ее связи с развитием математических наук уходят во времена Античности. Однако нынешнее представление о механике как о математической теории движения и равновесия тел начало складываться только в XVII в. Именно в это время идеи количественной оценки движения тел, появившиеся в философских трудах оксфордских и парижских учёных в Средние века, получили дальнейшее развитие. Это было время, когда внимание большинства видных математиков, физиков и механиков было привлечено к проблемам движения тел, к возможности описания движения средствами зарождающейся математики переменных величин.

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, пройденный путь, скорость и ускорение движения, масса тела, сила. Видными исследователями движения

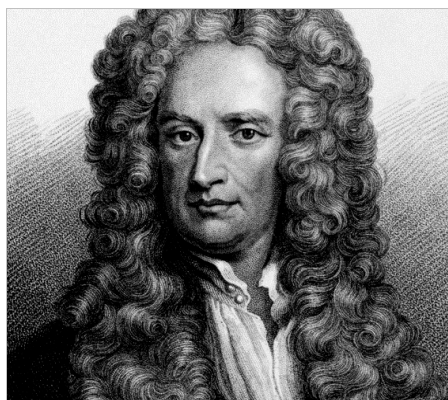
тел были англичанин Исаак Ньютон (1643–1727) и немец Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646–1716).

Их научное творчество было естественным продолжением и развитием идей Г. Галилея (1554–1642), И. Кеплера (1571–1630), Р. Декарта (1596–1650), Дж. Уоллиса (1616–1703), Х. Гюйгенса (1629–1695), Р. Гука (1635–1703) и других известных ученых XVII в. Однако их представления о современных понятиях "сила", "масса", "скорость", "количество движения" значительно отличались. Но, несмотря на это, понятие количества движения, введенное Декартом, оказалось одним из важнейших для дальнейшего развития механики и окончательно укоренилось в ее терминологии в качестве одной из основных мер движения.

Основные механические представления Ньютона представлены в его главном труде "Математические начала натуральной философии" (1687). Несмотря на то, что автор очень основательно отнесся к определению используемых им понятий, там нет определения понятий скорости и ускорения. Можно предположить, что Ньютон их считал очевид-

ными или общепринятыми, но из текста книги следует, что они не полностью совпадают с современными.

Согласно Ньютону: "Количество материи или масса есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее" [1, с.24].



И. Ньютон (1643–1727)

В самом деле, это определение предполагает предварительное определение плотности. Последнюю мы определяем сейчас как массу единицы объема. Ньютон же в пояснении к определению подчеркивает, что от уплотнения частиц масса тела увеличивается, как, например, увеличивается масса воздуха при его сжатии, масса порошка или снега от сжатия или таяния; "при этом я не принимаю расчёт той среды, если таковая существует, которая свободно проникает в промежутки между частицами" [7]. Следовательно, плотность тела, по Ньютону, определяется числом частиц в единице объема. Опытным путём масса определяется по весу тела, "ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками, произведёнными точнейшим образом..." [7].

То обстоятельство, что Ньютон указывает способ физического сравнения масс тел по их весам, позволяет забыть о зависимости его определения от натурфилософских воззрений. Масса Ньютона – это не мера инерции Декарта, это неизменное, не зависящее ни от каких обстоятельств количество вещества. Само собой разумеется, что масса обладает свойством аддитивности: в совокупности тел общее число частиц равно сумме частиц отдельных тел, и, следовательно, масса совокупности тел равна сумме масс отдельных тел. Однако Ньютон оговаривает специально не аддитивность массы, а аддитивность количества движения. Определив последнее как величину, пропорциональную произведению

массы на скорость он добавляет: "Количество движения целого есть сумма количеств движения отдельных частей его" [6, с. 123].

Понятие количества вещества имеет метафизический оттенок, пока не указаны способы его измерения. Вес – это внешнее действие на материю, переменное по своему характеру, и потому не может быть отождествлен с тем неизменным атрибутом тела, каким, по Ньютону, является масса. В чем же проявляется масса тела? В качестве ответа на этот вопрос можно принять следующее: "Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Эта сила, – добавляет Ньютон, – пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на нее" [1, с. 25].

Вот здесь-то и вводится обычное физическое определение массы как меры инерции. Инерция тела проявляется двояко – как сопротивление и как напор: "Как сопротивление – поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить свое состояние; как напор – поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия" [7]. Инерция является изначальным неизменным атрибутом материи, ее "врожденной силой", поэтому ее вполне можно отождествить с количеством вещества. Пропорциональность ее весу является случайным, необъяснимым обстоятельством.

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

Определив силу как "действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения", Ньютон указывает на внешний по отношению к телу характер этого действия. Сила может быть произведена ударом, давлением и, наконец, некоторым силовым центром. Это последнее действие Ньютон считает необходимым определить полнее и точнее, так как его книга посвящена изуче-

нию и описанию движения планет под действие притяжения Солнца.

"Центростремительная сила есть та, с которой тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся" [1, с. 26].

Таким полем центростремительных сил является пространство вокруг Земли, пространство вокруг магнита, пространство вокруг Солнца. Центростремительная сила в каждой точке такого пространства определяется мощностью самого силового центра, положением точки воздействия и, наконец, массой тела, помещенного в эту точку. В связи с этим Ньютон различает в центростремительной силе три фактора ее: абсолютную, ускорительную и движущую величину.

"Абсолютная величина центростремительной силы есть мера большей или меньшей мощности самого источника ее распространения из центра в окружающее ее пространство" [1, с. 27].

"Ускорительная величина центростремительной силы есть мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течение данного времени" [1, с. 28].

"Движущая величина центростремительной силы есть ее мера, пропорциональная количеству движения, которое ею производится в течение данного времени" [1, с. 28].

То, что Ньютон называет "ускорительной силой", есть не что иное, как напряженность силового поля – фундаментальное понятие теории силового поля. Движущая сила пропорциональна как напряженности поля, так и массе тела. Ее можно измерить статическим методом, прилагая к телу силу, препятствующую его перемещению под действием силового поля. Ньютон подчеркивает, что вводимые им понятия являются математическими характеристиками поля. "Эти понятия должно рассматривать как математические, – заявляет он, – ибо я еще не обсуждаю физических причин и места нахождения сил" [7]. И несколько ниже он еще раз указывает: "Название же "притяжение", "натиск", или "стремление" я употребляю безразлично одно вместо другого, рассматривая эти силы не физически, а математически, поэтому читатель должен позаботиться, чтобы ввиду таких названий не думать, что я ими хочу определить самый характер действия или физические причины происхождения этих сил, или же приписывать центрам действительно и физи-

ческие силы, хотя я и буду говорить о силах центров и о притяжении центрами" [7].

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

"Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе" [1, с. 24]. Ньютон ясно осознавал векторный характер скорости, а значит, и количества движения, ставшего в динамике основной мерой движения. Стоит заметить, что законы сохранения количества движения и скорости центра тяжести – следствие из законов раздела "аксиомы или законы движения": "центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел друг на друга не изменяет ни своего состояния покоя, ни движение; 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" [1, с. 47].

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 сил, законы сохранения количества движения и скорости центра тяжести, механический принцип относительности. Вводная часть "Начал" заканчивается изложением элементов теории удара. Ньютон замечает, что результаты Х. Гюйгенса и К. Рена (1632–1723) 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

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 формировались только словесно. Это обстоятельство породило массу вопросов у проницательных читателей. Особенно это касалось второго закона, который многочисленные комментаторы "Начал" упорно интерпретировали формулой $dmv/dt = ma = F$, 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 $F\Delta t$. Но все эти попытки "уберечь" Ньютона от якобы сделанной им ошибки", как писал гарвардский профессор И.Б. Коэн (1914–2003), 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.

У Лейбница нет столь фундаментального труда по механике как "Начала" Ньютона. Однако механике посвящены многие достаточно известные публикации: "Теория абстрактного движения" (1671), "Теория конкретного движения" (1671), "Краткое доказательство удивительной ошибки Декарта ..." (1686), "Применение динамики к законам движения...", "Динамика сил и законов природы тел" (1691), "Образец динамики" (1695) и др. Следуя Декарту, он считал, что масса есть "первичная материя", наделенная "протяженностью", непроницаемостью и сопротивлением или инерцией. Все эти свойства считаются однородными и равномерно распределёнными в теле. Тем самым Лейбниц вводит характеристики пассивности материи.

Понятием, противоположным первичной материи, является "вторичная материя" – материя, наделенная активностью. Понятие "сила", обобщающее первичную и вторичную материю, таким образом, включает "пассивную силу" или массу и "активную силу", аналогичную душе живых существ и придающую движению реальность. В свою очередь "активные силы" подразделяются на "простейшие", присутствующие в любой материальной субстанции, и "производящие силы", являющиеся результатом взаимодействия тел,

"...что некоторые называют "импетусом", т.е. конатусом или стремлением к определенному движению..." [5, с. 471].

Позднее Лейбниц пополнил свою теорию сил еще двумя понятиями – мертвая сила и живая сила. Мертвая сила – это, например, давление, которое или производит движение или стремится его произвести. Живая сила существует в движении. Но между этими силами есть взаимосвязь: всем телам присуща собственная сила, между движением и покоем нет качественного различия, живая сила возникает из импульсов мертвой силы.



Г.В. Лейбниц (1646–1716)

В формулировке Декарта, без определения понятия массы и осознания векторного характера скорости, закон сохранения количества движения был ошибочен. Лейбниц писал: "В физике Декарта имеется большая ошибка; она состоит в том, что его правила движения или законы природы, которые должны быть фундаментом, в большинстве своем ошибочны. Этому есть доказательство. И его великий принцип о том, что количество движения в мире сохраняется, является заблуждением" [5, с. 474].

В работе 1686 г. на смену принципу Декарта, Лейбниц предлагает свой принцип сохранения: "Разумно говорить, что в природе сохраняется одна и та же сумма движущих сил, что эта сумма не убывает, так как мы никогда не видели, чтобы тело потеряло какую-то силу, которая не трансформировалась бы в другую, и, тем более, что эта сумма не возрастает, так как вечное движение нереально и никакая машина, а, следовательно, и весь мир, не может сохранять свою силу без новых импульсов извне" [5, с. 474].

Лейбниц принимает идею сохранения в качестве основного принципа механики и ищет истинную величину, определяющую стабильность мира. Опираясь на работы Гюйгенса, Лейбниц предлагает измерять количе-

ство движения не величиной, пропорциональной скорости, а величиной, пропорциональной квадрату скорости. Именно таково, по его логике, математическое выражение живой силы. А принцип сохранения он понимает как неизменность суммы живых и мертвых сил в каждый момент времени. Математическое выражение этого принципа (аналог теоремы изменения кинетической энергии) было дано последователем Лейбница – И. Бернулли (1667–1748).

Понятие силы в философской механике Лейбница было достаточно неоднозначным, но играло очень важную роль. Свою механику или теорию сил он называл динамикой (от древнегреческого *dynamis* – сила). Позднее этим термином стали пользоваться многие ученые, и он укоренился в механике как название теории движения тел под действием сил.

Математика в творчестве Ньютона была могучим средством синтетического исследования природы. Характерно, что даже сама терминология нового исчисления бесконечно малых, введенная Ньютоном: "флюксия", "флюента", "момент", взята из механических образов и в этом смысле значительно конкретнее "дифференциалов" и "интегралов" Лейбница.

Служебная практическая роль математики в руках Ньютона не умаляет, конечно, значения его великих открытий в этой области. Новые запросы физики требовали и новой математики, новых методов. Анализ бесконечно малых был совершенно необходим для разрешения задач новой механики. Физика и математика всегда помогали одна другой. При этом иногда физика опережала математику, ставя перед ней новые задачи, иногда, наоборот, в математике создавались целые большие разделы и главы. Именно поэтому Ньютон создал свой метод, опираясь на прежние открытия, сделанные им в области анализа, но в самом главном вопросе он обратился к помощи геометрии и механики.

В "Анализе с помощью уравнений с бесконечным числом членов", написанном в 1665 г., Ньютон изложил свои результаты в учении о бесконечно малых рядах, в приложении рядов к решению уравнений. В 1670–1671 гг. Ньютон стал готовить к изданию более полную работу – "Метод флюксий и бесконечных рядов". Лишь в 1704 г. вышел первый из всех трудов Ньютона по анализу, написанных им в 1665–1666 гг. Еще через семь лет опубликовали "Анализ с помощью урав-

нений с бесконечным числом членов". "Метод флюксий" увидел свет только после смерти автора в 1736 г.

Долгое время Ньютон и не подозревал, что на континенте успешно занимается подобной проблемой немец Лейбниц. До поры до времени высоко ценившие заслуги друг друга, в конце концов, ученые и их сторонники втянулись в жестокую полемику о приоритете открытия исчисления бесконечно малых.

В 1676 г. Лейбниц выработал первые основания великого математического метода, известного под названием "дифференциальное исчисление". Несомненно, что открытие Лейбница по общности, удобству обозначения и подробной разработке метода стало орудием анализа значительно могущественнее и популярнее Ньютонова метода флюксий.

Математический метод Лейбница находится в теснейшей связи с его позднейшим учением о монадах – бесконечно малых элементах, из которых он пытался построить Вселенную. Математическая аналогия, применение теории наибольших и наименьших величин к нравственной области дали Лейбницу то, что он считал путеводной нитью в нравственной философии.

В 1684 г. Лейбниц напечатал в журнале "Труды ученых" систематическое изложение начал дифференциального исчисления. То, что смутно представлялось умам лучших французских и английских математиков, исключая Ньютона, обладавшего своим методом флюксий, стало вдруг ясным, отчётливым и общедоступным, чего нельзя сказать о гениальном методе Ньютона.

Лейбниц видел в своих дифференциалах и интегралах всеобщий метод, сознательно стремился к созданию жесткого алгоритма упрощенного решения ранее не решавшихся задач.

Ньютон же несколько не заботился о том, чтобы сделать свой метод общедоступным. Его символика введена им лишь для "внутреннего", личного потребления, и он ее строго не придерживался.

В письме, написанном в июне 1677 г., Лейбниц прямо раскрывал Ньютону свой метод дифференциального исчисления. Тот на письмо Лейбница не ответил. Ньютон считал, что открытие принадлежит ему навечно. При этом достаточно того, что оно было запрятано лишь в его голове. Ученый искренне считал: своевременная публикация не приносит никаких прав.

Приведенная в этой работе краткая сравнительная характеристика некоторых механических идей Ньютона и Лейбница, показывает, что в конце XVII в. существовала насущная необходимость в создании физико-математической теории движения тел. Этими проблемами были заняты умы большинства ученых этого века. Их физические представления о причинах и свойствах движения тел во многом совпадали. И Ньютон, и Лейбниц почти одновременно увлеклись созданием нового математического аппарата, получившего (по инициативе Лейбница) название дифференциального и интегрального исчисления.

Таким образом, динамика Лейбница получила дальнейшее развитие в русле идей Ньютона.

Список литературы

1. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии // Собр. тр. акад. А.Н. Крылова. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. Т. 7.
2. *Кирсанов В.С.* Научная революция XVII века. М.: Наука, 1987.
3. *Григорьян А.Т.* Механика от античности до наших дней. М.: Наука, 1974.
4. *Яковлев В.И.* Начала механики. М.: Ижевск, РХД, 2005.
5. *Dugas R.* La mécanique au XVII siècle. Neuchâtel: Griffon, 1954.
6. *Успехи физических наук.* М.: Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 1987. Т. 151, № 1.
7. *История физики.* Т. 1. От античной физики до Менделеева. URL: <http://physiclib.ru> (дата обращения: 11.01.2016).

Comparative characteristics of the dynamic concepts of Newton and Leibniz (To 300th years from the death of G.V. Leibniz)

V. I. Iakovlev

Perm State University, Russia, 614990, Perm, Bukirev st., 15
iakovlev@psu.ru; 8(342) 2396298

Y. D. Eremeeva

Perm State University, Russia, 614990, Perm, Bukirev st., 15
eremyl@mail.ru; 89922081430

The comparative analyses of the dynamic concepts of I. Newton and G.W. Leibniz. The article was revealed the similarity and the diversity of their research results in the field of mechanics.

Key words: *differential calculus; conservation of momentum; quantity of motion; force; mass.*