

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ**ИСААК НЬЮТОН, ИОГАНН БЕРНУЛЛИ И ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ
КОЛИЧЕСТВА ДВИЖЕНИЯ****В. А. Фабрикант**

1. Для истории законов сохранения значительный интерес представляет одно очень странное место в известном 31-м «Вопросе», завершающем «Оптику» Ньютона¹.

«Вопросы», приложенные к «Оптике», необычны и по форме, и по содержанию. В них нет стройности и гармоничности, столь свойственных другим произведениям Ньютона. Зато в них Ньютон гораздо откровеннее говорит о своих научных вкусах и дает большую свободу своей фантазии.

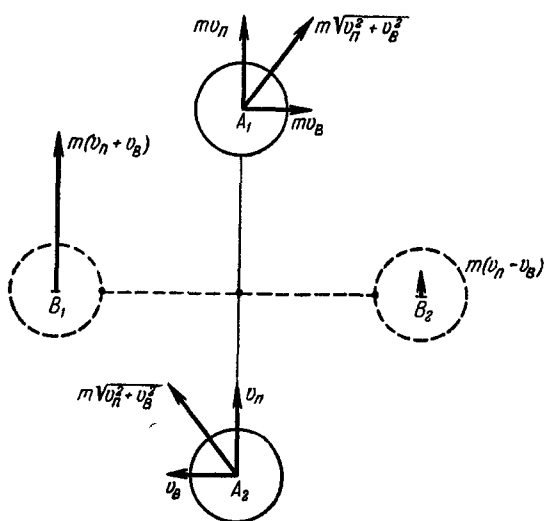
С. И. Вавилов много раз указывал на важность анализа «Вопросов» для изучения процесса формирования мировоззрения Ньютона. С. И. Вавилов охарактеризовал «Вопросы» как: «... сырой, необработанный материал, в котором петрудно отыскать много явных противоречий и блестящих мыслей наряду с очевидными заблуждениями. Во время издания «Оптики» Ньютон находился в зените своей славы и мог позволить себе вольность издания незаконченных работ и мыслей²». В частности, в 31-м «Вопросе» имеется «явное заблуждение», послужившее Ньютону основой для ряда далеко идущих выводов. Речь идет о сомнениях Ньютона в универсальной справедливости закона сохранения количества движения. На неблагоприятность соответствующего места «Оптики» впервые обратил внимание Иоганн Бернулли. Он сделал это уже после смерти Ньютона, в 1735 г., в мемуаре под названием: «Об истинном значении живых сил и их применении в динамике»³.

В опубликованных Брюстером⁴ трех письмах И. Бернулли к Ньютону данный вопрос не затрагивается, хотя поводом для написания двух из этих писем послужило выражение благодарности за получение от Вариньона французского издания «Оптики» и за обещание прислать латинское издание (французский перевод был сделан со второго английского издания). Из предисловия к современному шеститомному изданию переписки И. Бернулли видно, что Брюстер опубликовал все имевшиеся письма И. Бернулли к Ньютону⁵. Насколько нам удалось установить, никто не возвращался к анализу данного места 31-го «Вопроса» (кроме епископа Горслея, см. ниже).

2. Приведем в переводе С. И. Вавилова обсуждаемое место «Оптики»⁶.

«*Vis inertiae* есть пассивный принцип, посредством которого тела пребывают в их движении или покое, получают движение, пропорциональное приложенной к ним силе, и сопротивляются настолько же, насколько сами встречают сопротивление. По одному этому принципу в мире еще не могло бы произойти движение. Был необходим некоторый иной принцип, чтобы привести тела в движение, и раз они находятся в движении,

требуется еще один принцип для сохранения движения. Ибо из различного сложения двух движений вполне ясно, что в мире не всегда имеется одно и то же количество движения. Если два шара, соединенных тонким стержнем, вращаются вокруг их общего центра тяжести равномерным движением, в то время как центр равномерно движется по прямой линии, проведенной в плоскости их кругового движения, то сумма движений двух шаров в том случае, когда шары находятся на прямой линии, описываемой их общим центром тяжести, будет больше, чем сумма их движений, когда они находятся на линии, перпендикулярной к этой прямой. Из этого при-



мера ясно, что движение может получаться и теряться».

Дальше идет изложение еще двух конкретных примеров, к которым мы вернемся позднее.

3. Перевод С. И. Вавилова выполнен с третьего английского издания, вышедшего в 1721 г. Судя по Грею⁷, это издание фактически является четвертым английским изданием и последним изданием, вышедшим в свет при жизни автора. Содержание и форма «Вопросов» сильно изменялись от издания к изданию, что свидетельствовало о пересмотре Ньютоном текста книги⁸.

Интересующий нас отрывок текста отсутствовал в первом издании «Оптики», вышедшем в 1704 г. на английском языке, и впервые появился в латинском издании 1706 г.⁹.

Латинский перевод был выполнен другом Ньютона Самуэлем Кларком под непосредственным наблюдением автора¹⁰. Ньютон был очень доволен качеством перевода и сделал крупный денежный подарок каждой из пяти дочерей Кларка¹¹. В небольшом латинском предисловии, подписанном инициалами И. Н., указывается на наличие ряда добавлений в данном издании¹². Тем самым Ньютон счел нужным подчеркнуть свое авторство в этих добавлениях. Наконец, Ньютон говорил своему другу Д. Грегори, что написал семь страниц добавлений к латинскому изданию «Оптики», причем явно имел в виду 31-й «Вопрос»¹³. В последующих изданиях «Оптики», и английском и латинских, Ньютон оставил рассматриваемое место без изменений наряду с внесением нескольких изменений в других местах тех же «Вопросов»¹⁴.

4. Переходим к анализу приведенного выше отрывка. В первой части этого отрывка наряду с утверждением о необходимости «первичного толчка» имеется четкая формулировка возможности нарушения закона сохранения количества движения. Вторая часть содержит конкретный пример, который, по мнению Ньютона, должен опровергнуть универсальность указанного закона.

Попробуем при помощи чертежа (см. рисунок) восстановить ход рассуждений Ньютона, приведший, по-видимому, его к такому странному выводу. Получив, очевидно, для каждого шара в положении A_1A_2 количество движения, равное $m\sqrt{v_n^2 + v_B^2}$, где v_n — скорость поступательного движения, v_B — скорость вращательного движения; Ньютон просто удваи-

вает эту величину, не учитывая направления векторов, тогда получается $2m\sqrt{v_a^2 + v_b^2}$, что, конечно, превышает $m(v_a + v_b) + m(v_a - v_b) = 2mv_a$, соответствующее положению B_1B_2 .

Епископ Горслей, издавший собрание сочинений Ньютона, делает совсем неожиданное примечание к данному примеру. Он пишет: «Противоположное кажется справедливым, что сумма движений должна быть наибольшей, когда стержень, соединяющий вращающиеся тела, перпендикулярен к прямой линии, вдоль которой движется общий центр тяжести»¹⁵. Нам не удалось восстановить, как Горслей получил такой результат. Он же указывает, что: «Но в любом случае различные величины суммы движений при этих двух положениях стержня одинаково подтверждают утверждение нашего автора (т. е. несохранение количества движения)».

Иоганн Бернулли, страстный пропагандист введенного Лейбницем понятия живой силы¹⁶, видит ошибку Ньютона в неправильном выборе меры для движения. Он пишет¹⁷: «Если бы Ньютон понял раньше истинную природу живых сил, то он, конечно, не установил бы два различных начала: одно для сообщения телам движения, другое для сохранения их движения. Ведь то же самое начало, посредством которого движение сообщается, приводит и к тому, что движение сохраняется. Это начало заключается не в количестве движения, а в живой силе. Тем самым делается совершенно ясно, что движение по природе вещей никогда не может исчезнуть, чего, по-видимому, боялся Ньютон, напуганный ложными страхами...». «Мы великолепно и без большого труда можем доказать, что у этих шаров будет всегда одна и та же сумма живых сил, в каком бы положении они не вращались. Значит, если и тот и другой шар будут умножены не на скорости, а на квадраты своих действительных скоростей, то сумма произведений будет всегда одна и та же. Этим самым удивительно хорошо подтверждается закон сохранения живых сил, и совершенно исчезает страх перед тем, что когда-нибудь в природе исчезнет движение, и весь мир погрузится в страшный неподвижный хаос. Будем же спать спокойно, дело обстоит благополучно».

Мы видим, что Бернулли отнюдь не сомневался в нарушении закона сохранения количества движения в данном конкретном случае и не заметил, что вращение шаров вообще не может влиять на суммарное количество движения системы.

5. В качестве второго примера нарушения закона сохранения Ньютона приводит удар неупругих шаров¹⁸:

«Если два равных тела встречаются прямо *in vacuo* по законам движения, они останавливаются там, где встретились, теряют все свое движение и остаются в покое, если только они не упругие и не получают нового движения благодаря упругости. Если упругости достаточно для того, чтобы они отскочили с четвертью, половиной или тремя четвертями силы, с которой они столкнулись, они потеряют три четверти, или половину, или четверть своего движения. Это можно испытать на опыте, заставляя два одинаковых маятника падать друг на друга с равных высот. Если маятники из свинца или из мягкой глины, они потеряют все или почти все свое движение. Если маятники из упругих тел, они потеряют все, за исключением того, что вновь получают от своей упругости. Если скажут, что тела теряют только то движение, которое они сообщают другим телам, то следствием этого было бы то, что *in vacuo* они не могли бы терять движения и при встрече проходили дальше и проникали одно через другое».

В этом примере неясно, что понимал Ньютон под мерой движения. Если в данном случае речь шла о кинетической энергии (живой силе) макроскопического механического движения, тогда все верно, но такое толкование сомнительно.

И. Бернулли опять-таки видит выход из затруднения в использовании понятия живой силы как единственно правильной меры движения и отсылает читателя к соответствующему месту своего мемуара: ¹⁹ «Если тела не являются совершенно упругими, то они в полной мере не восстанавливают своей формы, и какая-то часть живых сил видимым образом исчезает, поглощаясь благодаря сжатию тел. От этого, однако, мы отвлекаемся, допуская, что этого рода сжатие аналогично сжатию пружины, которой мешает расправиться то или иное препятствие, вследствие чего пружина не возвращает живую силу, полученную ею от тела, столкнувшегося с нею, а сохраняет ее внутри себя. Таким образом, ничего из сил не исчезает, хотя бы по видимости такое исчезновение и имело место».

Аналогия с пружиной в данном случае явно неудачна. Розенбергер, анализируя этот пример, приводит гораздо более ясное и правильное высказывание Лейбница о неупругом ударе ²⁰: «Силы (живые—В. Ф.) не исчезают, но рассеиваются между мельчайшими частицами. Это не есть потеря, это происходит так же, как и размен крупной монеты на мелкие».

Так или иначе, но у И. Бернулли и здесь не вызвала сомнения возможность нарушения закона сохранения количества движения. Он, в частности, не заметил, что благодаря симметрии движений тел до и после удара в примере Ньютона суммарное количество движения системы все время равно нулю. Нам, привыкшим к схеме законов сохранения, трудно понять ход мыслей И. Бернулли, но для него равенство нулю суммарного количества движения при наличии движения отдельных частей системы было бы, вероятно, лишним аргументом против пригодности количества движения в качестве меры движения.

Наконец, в качестве третьего примера Ньютон рассмотрел затухание вихрей в вязких средах ²¹. Острие этого примера направлено против теории вечно вращающихся вихрей Декарта. И. Бернулли в значительной мере разделял точку зрения Декарта. Он ясно видел слабые стороны теории тяготения Ньютона как теории дальнего действия и пытался в своеобразной форме объединить основные идеи Декарта и Ньютона ²². Поэтому удивительно, что И. Бернулли оставил третий пример Ньютона без замечаний. Вернее всего, что он не нашел подходящих аргументов. Как известно, строгая теория вихрей в вязкой среде была создана гораздо позднее.

Рассматривая все три примера в совокупности, трудно допустить, что Ньютон в последних двух примерах имел в виду иную меру движения, чем в первом примере. Очевидно, что во всех трех примерах речь шла о количестве движения. Так понял два первых примера И. Бернулли. Это подтверждается и сличением латинской терминологии 31-го «Вопроса» и «Начал». В формулировке второго закона Ньютона фигурирует то же слово «*motus*», что и в 31-ом «Вопросе».

6. Латинское издание «Оптики» вышло в свет почти через двадцать лет после выхода первого издания «Начал» (1687) и за семь лет до второго издания «Начал» (1713). Во втором издании «Начал» Ньютон исправил ошибки, имевшиеся в первом издании и указанные ему И. Бернулли *). В обоих изданиях «Начал» без изменений напечатаны формулировки закона сохранения количества движения для системы тел. Сюда относятся следствия III и IV из третьего закона Ньютона. Напомним текст «Начал».

«Следствие III. Количество движения, получаемое, беря сумму количеств движения, когда они совершаются в одну сторону, и разность, когда они совершаются в стороны противоположные, не изменяется от взаимодействия тел между собою» ²³.

*) См., например, E. J. Walte r, *Soziale Grundlagen der Entwicklung der Naturwissenschaften in der alten Schweiz*, Bern, 1958, стр. 226.

Иллюстрируется это «Следствие» ударом упругих шаров. В «Поучении» Ньютон рассматривает также и удар не вполне упругих шаров, но не останавливается на вопросе о применимости к таким ударам закона сохранения количества движения и ограничивается замечанием о справедливости третьего закона в данном случае. Отметим, что Н. Е. Жуковский называет теоремой Ньютона положение о сохранении количества движения системы при любых ударах ²⁴.

Общность формулировки «Следствия» III находится в резком противоречии с соответствующим местом 31-го «Вопроса». Противоречие станет еще более сильным, если к этому добавить «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» ²⁵.

Указанные «Следствия» безусловно были известны И. Бернулли, внимательно изучавшему «Начала», но он, очевидно, не придавал этим местам должного значения. В «Началах» можно найти и теорему живых сил. Она формулируется в «Предложении XXXIX», «Задача XXVII» ²⁶, на что обратил внимание И. Бернулли в своей автобиографии ²⁷. Но Лауэ справедливо замечает, что Ньютон не придавал особого значения понятию живой силы ²⁸.

Вообще законы сохранения в «Началах» еще не играют той большой роли, которую они приобрели при дальнейшем развитии физики. Несмотря на это, Ньютон считал, что должны существовать «активные начала», компенсирующие во вселенной нарушения закона сохранения количества движения, происходящие при случаях, аналогичных приведенным трем примерам. Он писал: «Мы видим поэтому, что разнообразие движений, которое мы находим в мире, постоянно уменьшается и существует необходимость сохранения и выполнения его посредством активных начал...» ²⁹. Горслей подчеркивает необходимость введения «активных начал» специальным заголовком на полях IV тома собрания сочинений Ньютона ³⁰. Концепция «активных начал» не отличалась ясностью, и Горслея явно привлекала возможность выдать за «активное начало» божественный дух. Однако сам Ньютон под «активными началами» понимал: «... начало тяготения и начало, вызывающее брожение или сцепление тел (т. е. межмолекулярные силы.—В. Ф.)...». «Активным началам» он противопоставляет силу инерции, «... сопровождаемую теми пассивными законами движения, которые естественно получаются от этой силы» ³¹. Здесь по существу речь идет о втором начале Ньютона, а закон сохранения количества движения связан с третьим началом.

Таким образом, ясности в истолковании закона сохранения количества движения явно не было. Тем поразительнее отсутствие неточностей при изложении этих проблем в «Началах». Мы видели, что там сказано мало, но все сказанное верно.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. И. Н ь ю т о н, Оптика, перев. С. И. Вавилова, 2-е изд., просмотр. Г. С. Ландсбергом, Гостехиздат, 1954, стр. 285.
2. С. И. В а в и л о в, И. Ньютон, 2-е изд., Изд. АН СССР, 1945, стр. 91.
3. И. Б е р н у л л и, Избранные сочинения по механике, ОНТИ, 1937, стр. 217.
4. D. B r o w s t e r, Memoirs of the Life, Writing and Discoveries of Sir Isaac Newton, v. II, Edinburg, 1885, стр. 502—508.
5. Der Briefwechsel von Johann Bernoulli, Bd. I, Basel, 1955, стр. 55.
6. И. Н ь ю т о н, Оптика, стр. 301.

7. C. J. Gray, A bibliography of the workes of Sir Isaac Newton, 2-ed. Cambridge, 1907, стр. 35—40.
 8. И. Ньютон, Оптика, стр. 355, прим. С. И. Вавилова.
 9. I. Newton, Optice reddidit Samuel Clarke, Londini, 1706.
 10. С. И. Вавилов, И. Ньютон, стр. 82.
 11. L. T. More, I. Newton, N. J. 1934, стр. 506; см. также R. L a e m m e I, Isaac. Newton, Zürich, 1957.
 12. I. Newton, Optice, ibid., стр. III.
 13. D. Gregory, I. Newton and their Circle. Ed. by W. G. Hiscock, Oxford. 1937, стр. 29.
 14. См. например, примечания Горслея в четвертом томе сочинений Ньютона, I s a a c I N e w t o n i, Opera Quae extant omnia, v. IV, Londini, 1732, стр. 260—264.
 15. I. Newtoni, Opera, v. IV, стр. 258.
 16. См. например, J. O. Fleckenstein, Johann und Jakob Bernoulli, Basel. 1949, стр. 22.
 17. И. Бернулли, ibid., стр. 244.
 18. И. Ньютон, Оптика, стр. 301.
 19. И. Бернулли, ibid., стр. 226.
 20. F. Rosenberger, I. Newton und seine Physikalische Principien, Leipzig, 1895, примечание на стр. 411 (Розенбергер, даже не упоминает первый пример).
 21. И. Ньютон, Оптика, стр. 302.
 22. J. Bernoulli, Opera omnia, v. III, Losannae of Genevae, 1742, стр. 263. См. также: P. Brunet, L'introduction les théories de Newton en France au XVIII Siècle, Paris, 1934, стр. 186—200, 272—293.
 23. И. Ньютон, Математические начала натуральной философии, перев. А. Н. Крылова, Собрание трудов акад. А. Н. Крылова, т. VII, Изд. АН СССР, 1936, стр. 45.
 24. Н. Е. Жуковский, Механика системы, Оборонгиз, 1939, стр. 189.
 25. И. Ньютон, Начала, стр. 47.
 26. И. Ньютон, Начала, стр. 172.
 27. R. Wolf, Biographien zur Kulturgeschichte der Schweiz, II Cicl. Zürich., 1859, стр. 90.
 28. М. Лауэ, История физики, Гостехиздат, 1956, стр. 98.
 29. И. Ньютон, Оптика, стр. 302.
 30. I. Newtoni, Opera, v. IV, стр. 258.
 31. И. Ньютон, Оптика, стр. 304.
-