

31. *Lecourt D.* Proletarian Science? The Case of Lysenko (New Left Books). 1977. First French edition: Lyssenko (François Maspero, 1976).
32. *Regelmann J. P.* Die Geschichte des Lyssenkoismus. Frankfurt/Main, 1980.
33. *Roll-Hansen N.* A new perspective on Lysenko?//Ann. Sci. 1985. V. 42. P. 261—278.
34. *Jones G.* British scientists, Lysenko and the Cold War//Economy and Society. 1979. V. 8. P. 26—58.
35. *Bakhteev F. Kh.* Reminiscence of N. I. Vavilov (1887—1943) on the eightieth Anniversary of his birthday//Theoret. Appl. Genet. 1968. V. 38. P. 79—84.
36. *Bakhteev F. Kh.* N. I. Vavilov and his role in the development of genetics//Proc. XIV Internat. Congr. Genetics, Moscow, 21—30 August, 1978. M., 1980. V. 1. P. 25—34.
37. *Cohen B. M.* N. I. Vavilov and America—his trip to Tucson in 1930//Proc. XIV Internat. Congr. Genetics, Moscow, 21—30 August, 1978. M., 1980. V. 1. P. 147—152.
38. *Harlan J. R.* Anatomy of gene centres//Amer. Naturalist. 1951. V. 85. P. 97—103.
39. *Harlan J. R.* Agricultural origins: centers and noncenters//Science. 1971. V. 174, P. 468—474.
40. *Harland J. R.* Geographic patterns of variation in some cultivated plants//J. Heredity. 1975. V. 66. P. 184—191.
41. *Vavilov N. I.* Geographische Genzentren unserer Kulturpflanzen//Z. ind. Abst.- u. Vererb.-lehre. 1928. Suppl. V. 1 (V Int. Congress Genet.). S. 342—369.
42. *Schiemann E.* Gedanken zur Genzentrentheorie Vavilovs//Naturwissenschaften. 1939. H. 27. S. 377—383, 394—401.
43. *Schiemann E.* New results on the history of cultivated cereals//Heredity. 1951. V. 5. P. 305—320.
44. The last days of Nikolai Ivanovich Vavilov//New Scientist. 16 November. 1978. P. 509—511.
45. *Kupzow A. J.* Vavilov's law of homologous series at the fiftieth anniversary of its formulation//Economic Bot. 1975. V. 29. P. 372—379.
46. *Haldane J. B. S.* The Marxist philosophy and the sciences. L. 1974.
47. *Филиппченко Ю. А.* О параллелизме в жизни природы//Усп. эксперим. биол. 1924. Т. 3. С. 242—258.
48. *Gates R. R.* Vavilov and the Soviets//Science and Culture. 1974. V. 12. № 3. P. 423—427.

ЗАРУБЕЖНАЯ ХРОНИКА

КОНФЕРЕНЦИЯ «РАЗВИТИЕ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЕ В 1918—1938 гг.»

На этой конференции, состоявшейся 13—17 октября 1986 г. в г. Кестхей (ВНР), были продолжены исследования двух предыдущих конференций, на которых обсуждались вопросы развития науки и техники в Центральной Европе до 1848 г. (Будапешт, 1974) и в 1848—1918 гг. (Будапешт, 1980).

Развитие науки и техники в 1918—1938 гг. связано с особенностями политической и экономической жизни Центральной Европы, обусловленными распадом Габсбургской империи и образованием новых государств.

В докладах рассматриваются следующие проблемы: особенности и результаты технологического прогресса в Центральной Европе; особенности истории, теории и философии науки в Центральной Европе, их взаимодействие с самой наукой; наука,

техника и интеллектуальная жизнь в этот период; научно-техническое образование в Центральной Европе в это время; приобщение женщин к научно-техническому образованию в данный период; общие и местные особенности научных исследований в Центральной Европе и их связь с основными направлениями научных исследований в мире; особо значимые научные открытия и достижения в Центральной Европе этого периода; выдающиеся ученые и изобретатели этого периода и оценка их деятельности; создание и развитие наиболее значимых фабрик, научно-исследовательских центров, школ и других учреждений; развитие медицины и здравоохранения.

Archives internationales d'histoires des sciences. 1985. № 114—115. P. 433

ЭКСПЕРИМЕНТ В «НАЧАЛАХ» И. НЬЮТОНА

С. Р. ФИЛОНОВИЧ

Масштабность личности И. Ньютона как ученого, значимость его достижений, а также глубина влияния, оказанного им на развитие естествознания, в целом определяют то внимание, которое уделяется творчеству этого великого ученого. Литература, посвященная Ньютону, огромна (см., например, [1]), она отражает многие стороны его жизни и деятельности. Однако, хотя многие историко-научные проблемы, связанные с Ньютоном, разработаны глубоко, ряд ньютоновских вопросов в истории науки, на наш взгляд, освещен недостаточно. Один из таких вопросов касается деятельности Ньютона как экспериментатора.

Нельзя сказать, что экспериментальные исследования Ньютона вообще не обсуждались в работах историков науки. Можно указать немало публикаций¹, посвященных его оптическим опытам (см. библиографию в [2]), обсуждались и его химические [3], электрические [4, 5] эксперименты, а также опыты по теплоте [6, 7]. Тем не менее обобщающих работ, в которых была бы проанализирована роль многочисленных опытов Ньютона в истории становления физического эксперимента, практически нет. Обобщенные названия работ А. Койре [8] и Рэлея-сына [9] не должны вводить в заблуждение — в первой обсуждается смысл терминов «гипотеза» и «эксперимент» в понимании Ньютона, во второй же в действительности отражены лишь его оптические опыты. Почти не изучены и некоторые частные аспекты указанной проблемы. Так, эксперименты Ньютона по механике фактически не обсуждались в историко-научной литературе, в то время как истоки его теоретических построений в области механики, процесс их формирования и трансформации изучены очень подробно (см., в частности, [10—12]). Между тем в основном труде Ньютона «Математические начала натуральной философии» приводятся описания большого числа механических опытов, поставленных самим ученым, и их включение в книгу, которая уже по своему своему названию должна, казалось бы, рассматриваться как теоретическая, порождает множество вопросов.

Каковы мотивы постановки этих опытов Ньютоном? Как они соотносятся с экспериментами по механике, проводившимися до Ньютона, а также ставившимися его современниками? В каком отношении по методическому уровню они находятся с известными оптическими опытами Ньютона? Почему, наконец, он включил их описание в «Начала»?

Для правильной оценки опытов Ньютона по механике необходимо хотя бы кратко коснуться вопроса об общем уровне механических экспериментов в XVII в. Общеизвестно, что наиболее оригинальным исследо-

¹ Данные здесь ссылки на исследования, посвященные отдельным направлениям экспериментальных работ Ньютона, не являются исчерпывающими.

вателем в этой области в первой половине XVII в. был Г. Галилей. Его опыты и сделанные на их основе обобщения оказали решающее влияние на дальнейшее развитие механики. Однако в оценке того, в какой мере опыты Галилея приближались по своему стилю к эксперименту в современном смысле слова, историки науки довольно сильно расходятся². Так, С. Дрейк [14] на основе анализа неопубликованных рукописей Галилея подчеркивает его талант экспериментатора. В то же время А. Койре [15] указывал, что даже количественные опыты по механике, проводившиеся Галилеем, все же еще очень далеки от точного эксперимента в современном понимании этого термина.

В целом можно констатировать, что Галилей был, бесспорно, исключительно тонким наблюдателем природы и мастером постановки наглядных и доказательных опытов (примером являются его эксперименты с движением тел по наклонной плоскости). При этом в силу низкого уровня развития техники измерений точность количественных опытов Галилея была невелика. Кроме того, Галилей еще не ставил во главу угла точность совпадения теоретических предсказаний и данных наблюдений. Приведем для примера достаточно типичное описание одного из его опытов с маятниками: «...я взял, в конце концов, два шара — один из свинца, другой из пробки, причем первый был в сто раз тяжелее второго, и прикрепил и подвесил их на двух одинаковых тонких нитях длиной в четыре или пять локтей; когда затем я выводил тот и другой шарик из отвесного положения и отпускал их одновременно, то они начинали двигаться по дуге одного и того же радиуса, переходили через отвес, возвращались тем же путем обратно и т. д.; после того, как шарик производил сто качаний туда и обратно, становилось ясным, что тяжелый движется столь согласованно с легким, что не только после ста, но и после тысячи качаний не обнаруживается ни малейшей разницы во времени, и движение обоих происходит совершенно одинаково. При этом, однако, наблюдается воздействие среды, которая, представляя сопротивление движению, значительно больше уменьшает размах качания пробки, нежели размах качания свинца; но от этого последние не делаются ни более, ни менее частыми, так что хотя дуги, описываемые пробкою, будут равняться всего пяти-шести градусам, а описываемые свинцом — пятидесяти-шестидесяти градусам, они будут проходить в одинаковые промежутки времени» [16, с. 181—182].

Обратим внимание на некоторые особенности наблюдений Галилея. Он явно экстраполирует полученные в реальных наблюдениях данные: очевидно, что при опытах с пробковым шаром невозможно наблюдать тысячу качаний. Далее, при наблюдении даже нескольких десятков качаний пробкового и свинцового шариков можно заметить различие в периодах колебаний, вызванное сопротивлением воздуха. Наконец, неизохронность маятников, колеблющихся с амплитудой 50—60°, в контрасте с изохронностью колебаний при амплитуде 5—6°, вполне может быть зафиксирована без использования каких-либо специальных приспособлений. Таким образом, для Галилея опыт — это скорее иллюстрация справедливости теоретического построения, чем его обоснование.

К следующему этапу в развитии механического эксперимента относятся исследования Х. Гюйгенса. В его работах «Маятниковые часы» и «О движении тел под влиянием удара» упоминается ряд экспериментов, сходных с описанными в ньютоновских «Началах». У Гюйгенса задача количественной проверки предсказаний теории уже выходит на первый план. Например, теоретически рассчитав путь, который проходит тело за первую секунду при свободном падении, и получив величину 15 футов и 1 дюйм (4,96 м)³, Гюйгенс сравнил ее с данными специального

² Подробный обзор суждений об экспериментах Галилея см. в [13].

³ Здесь и далее в скобках вслед за значениями величин, выраженных в неметрических единицах, приводятся соответствующие значения в единицах СИ (м, кг). Отме-

опыта: «Этот результат точно совпадает с очень тщательными опытами, которые я произвел. В этих опытах момент времени, в который оканчивалось падение, определялся не ухом или глазом, так как оба были бы недостаточно достоверны; путь, пройденный при падении, определялся безошибочно другим методом, который я сейчас попытаюсь изложить. Время, потребное для падения, определяется половиной колебания маятника, подвешенного около стены или доски. Для того чтобы шарик маятника и падающее тело (свинцовый груз) начинали движение одновременно, они соединялись тонкой нитью, которая их удерживала. Эта нить затем пережигалась.

Но до пережигания к падающему грузу прикреплялась еще другая нить такой длины, что она натягивалась падающим грузом раньше, чем маятник ударялся о стену. Другой конец нити прикреплялся к полосе из бумаги или тонкой пленки, а эта в свою очередь так прикреплялась к стене или доске, что она приходила в движение при слабом натяжении нити и падала вдоль стены, как раз проходя через то место, в которое должен был удариться шар маятника. Когда падающий груз протянет всю длину веревки, он еще протянет часть полосы раньше, чем маятник достигнет доски. Как велика эта часть полосы, покажет шар маятника, который закопчен и оставит след на скользящей полосе. Если к этой части прибавить длину нити, то в точности получится длина, пройденная при падении» [17, с. 202—203].

Как видно из этого отрывка, Гюйгенс пытался до некоторой степени автоматизировать процесс регистрации, чтобы избавиться от погрешностей, которые могли происходить от несовершенства человеческих ощущений.

Следует, однако, отметить, что подход Гюйгенса к количественному эксперименту все же существенно отличается от принятого в наши дни. В данном случае об этом свидетельствует отсутствие оценки величины возможной погрешности измерений (хотя и указывается один из источников такой погрешности — сопротивление воздуха).

Кроме законов падения тел и колебаний маятников в середине XVII в. активно исследовалась проблема столкновения тел (упругого и неупругого удара). Здесь наиболее значительные результаты были получены К. Реном, Дж. Валлисом и Х. Гюйгенсом. Известно, что теоретические выводы относительно столкновений тел подкреплялись соответствующими экспериментами, в основе которых лежало использование маятников и знание свойств их колебательного движения⁴ [18]. По всей видимости, эти опыты были довольно грубы. Точность, с которой подтверждались во время публичных демонстраций выводы из правил упругого удара, предложенных Реном и Гюйгенсом, практически не обсуждалась. Характерно в этом смысле свидетельство Т. Спрата, в таких словах сообщавшего об опытах Рена: «Д-р Рен представил Обществу прибор для демонстрации эффектов всякого рода столкновений, происходящих между двумя твердыми шарообразными телами... для всех них он дал истинные теории, после того как эффекты были подтверждены многими сотнями опытов с этим прибором» [20, с. 311—312].

Такое положение с опытами по проблеме удара определялось, на наш взгляд, несколькими причинами. Любой современный физик-экспериментатор знает, что постановка количественного опыта в механике, как правило, сложнее, чем проведение эксперимента в любой другой области физики (исключая, вероятно, теплофизические исследования) при сравнимой точности. Это означает, что развитие эксперимента в

тим, что Гюйгенс пользуется величиной не английского фута (1 англ. фут = 0,3048 м), а парижского (королевского) фута (1 пар. фут = 0,3287 м).

⁴ Предлагались и другие пути решения проблемы удара. Например, Р. Гук пытался определить вес груза, который может «уравновесить» удар падающего тела о противоположный конец рычага [19]. Однако эта методика не получила развития.

XVII в. шло по пути «наибольшего сопротивления», поскольку традиции количественного физического эксперимента закладывались именно в механике. Другая причина заключалась в самой постановке задачи об ударе до Ньютона, о которой можно судить по названию, использовавшемуся в середине XVII в. для обозначения этой задачи — «установление законов движения» (laws of motion). Главная цель, ставившаяся при решении задачи, например об упругом ударе, состояла в нахождении скоростей тел после столкновения. Это требовало абсолютных измерений скоростей тел (точнее, величин, им пропорциональных) и затрудняло количественную оценку погрешностей опыта. Как мы увидим далее, Ньютон переосмыслил проблему удара, что позволило ему по-новому подойти к анализу данных опыта.

Как видно из приведенных примеров, эксперименты в области механики в XVII в. до Ньютона по своему стилю соответствуют этапу перехода от простейших (в основном качественных) опытов к более изощренным (количественным) экспериментам. Завершить этот переходный этап выпало Ньютону.

Вопрос о датировке механических экспериментов Ньютона сложен. Исследователи творчества ученого, занимавшиеся историей создания «Начал», не уделяли ему должного внимания. Правда, время проведения некоторых опытов, описанных в «Началах», указано самим Ньютоном, но это лишь счастливые исключения, да и то касающиеся лишь опытов, проведенных другими учеными по его инициативе. Обилие собственных опытов и наблюдений Ньютона, в особенности во второй книге «Начал», заставляет предположить, что часть их была реализована до того, как ученый приступил к подготовке «Начал»; объем работы, сделанной им, столь велик [10], что невозможно представить, чтобы в это же время проводились опыты, требовавшие больших временных затрат.

Из текста «Начал» следует, что некоторые сходные опыты Ньютон проводил в разное время. Так, при описании опыта 4 (Поучение к Предложению XL. Задача IX Книги второй) он отмечает: «Я начал проводить предыдущие опыты ранее, нежели я обладал теориею, изложенною в предыдущих предложениях» [22, с. 458]⁵. Мы не будем останавливаться на проблеме датировки опытов, но рассмотрим их в совокупности так, как они представлены в русском переводе «Начал» А. Н. Крылова [22], выполненном с латинского издания 1871 г.

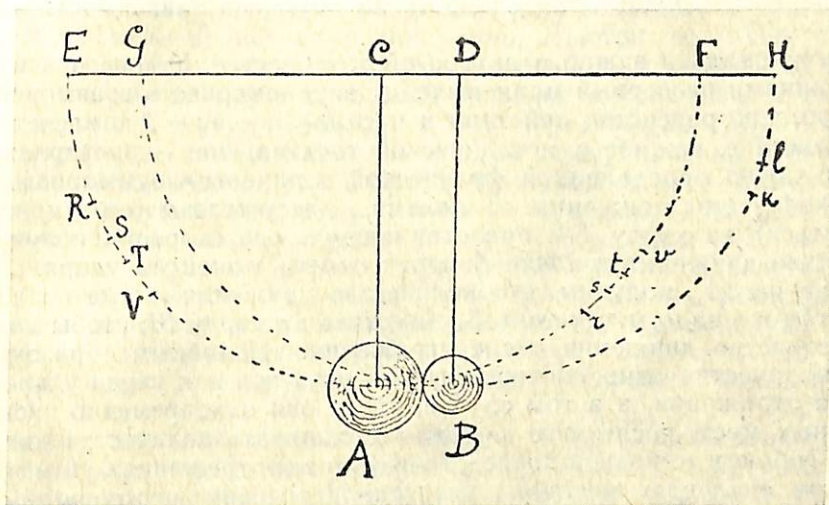
Описанные в них механические опыты можно условно разделить на две группы. К первой относятся эксперименты, проведенные для проверки основных положений теории. Во вторую входят эксперименты, цель которых — подтвердить правильность теоретически найденных решений конкретных (частных) задач.

В первой группе немного опытов, но они отчетливо отражают подход Ньютона к количественному эксперименту в целом. Рассмотрим подробнее экспериментальную проверку третьего закона Ньютона — равенства действия и противодействия.

В поучении, идущем за следствиями из законов движения, Ньютон утверждает, что «из этих же двух законов и из третьего кавалер *Кристофер Рен, Джон Валлис S. T. D.* и *Христиан Гюйгенс*, величайшие

⁵ В издании [21] воспроизведена страница рукописи Ньютона (Plate IV) с набросками механических устройств для проведения опытов. Подпись к рисунку гласит: «Изображение прибора, выполненное Ньютоном, было не более чем доказательством его умения делать быстрые наброски, и целый листок с рисунками редко встречается в его бумагах, исключая математические построения. Эти рисунки, по-видимому, относятся к опыту с маятником; объектом, изображенным в центре, может быть вращающийся столик для экспериментов с центробежной силой. Вероятно, около 1685 г.». К сожалению, издатели не указали, на чем основана эта предположительная датировка.

геометры нашего времени, вывели законы удара и отражения тел» [22, с. 51]. И далее: «Справедливость этих законов была подтверждена Реном перед Королевским обществом опытами с маятниками» [там же]. Здесь Ньютон, конечно, несколько преувеличивает. Ни у Гюйгенса, ни у Валлиса, ни тем более у Рена⁶ не было системы законов, сравнимых по общности с ньютоновской. Именно неудовлетворенность уровнем экспериментов перечисленных ученых заставила Ньютона предложить более совершенную методику проведения опытов с маятниками, позволяющую учесть сопротивление воздуха. Приведем описание этой методики полностью.



«Пусть шары *A* и *B* (рис. 1) подвешены на равных и параллельных нитях *AC*, *BD* из точек *C* и *D*. Опишем из этих точек, как из центров, радиусами *BD* и *AC* полуокружности *EAF* и *GBH*. Отклонив тело *A* до точки *R* дуги *EAF* и убрав тело *B*, пускаем *A* качаться и замечаем ту точку *V*, до которой оно дойдет после одного полного размаха; тогда *RV* представляет уменьшение величины размаха от сопротивления воздуха. Пусть *ST* есть четвертая часть *RV*, так расположенная по середине этой дуги, чтобы *RS* и *TV* были между собой равны, т. е. чтобы было $RS = TV = \frac{3}{2}ST$, тогда *ST* представит весьма близко влияние сопротивления воздуха при размахе от *S* до *A*. Поместим тело *B* на его место; если тело *A* пустить из точки *S*, то можно без чувствительной погрешности принять, что его скорость при ударе в низшем его положении будет такая же, как если бы оно свободно падало в пустоте из точки *T*. Эту скорость можно представить хордой *TA*, ибо известно, что скорость маятника в низшей точке его дуги пропорциональна хорде дуги падения. Пусть после отражения тело *A* достигает точки *s* и тело *B* — точки *k*. Убрав тело *B*, определяем положением такой точки *v*, из которой если пустить тело *A*, то после полного размаха оно приходит в *r*; если тогда взять $st = \frac{1}{4}rv$ и поместить точки *s* и *t* так, чтобы было $rs =$

⁶ О том, насколько туманно Рен формулировал основные положения своей теории, свидетельствуют строки из письма У. Нила от 18 декабря 1668 г. Г. Ольденбургу: «Я хотел бы, чтобы д-р Рен изложил свои принципы несколько более полно, но он против поисков объяснения для экспериментов относительно движения (насколько я могу судить) и говорит, что сами явления несут в себе достаточное объяснение, как бы являясь законом природы» [23, с. 263].

$=tv$, то хорда tA представит ту скорость, которую имеет тело A после отражения, ибо t будет то истинное и исправленное место, до которого могло бы дойти тело A при отсутствии сопротивления воздуха.

Подобным же образом исправляется и место k и находится та точка l , до которой дошло бы тело B в пустоте. Производя все испытания таким способом, мы как бы производим их в пустоте» [22, с. 51—52].

Таким образом, Ньютон описывает процедуру приведения результатов опыта к «идеальным» условиям. Конечно, сама по себе эта идея не нова — она восходит еще к Галилею, однако столь тщательная ее разработка — новшество (заметим, что рассуждение Ньютона справедливо для любой зависимости амплитуды колебаний от времени $A(t)$, дающего в первом порядке разложения по времени зависимость $A(t) \simeq A_0(1 - \alpha t)$).

Принципиально важно и другое обстоятельство. У Ньютона в опыте с маятниками на первый план выходит закономерность взаимодействия тел, а именно равенство действия и противодействия. Это влечет за собой следствие, важное с методической точки зрения — проверяется равенство нулю определенной физической величины — суммарного изменения количества движения. «Умножив... массу тела A (если можно так выразиться) на хорду TA , представляющую его скорость, получим его количество движения в точке A перед самым моментом удара. Затем, умножив на tA , получим его количество движения после отражения. Точно так же надо массу тела B умножить на хорду Bl , чтобы получить его количество движения после отражения. Подобным образом найдется количества движения каждого из двух тел как перед ударом, так и после отражения, и в том случае, когда они одновременно пускаются из разных мест, после чего и можно сравнивать количества движения между собою и выводить последствия удара и отражения» [там же].

Такая «нулевая» методика представляет преимущество в том отношении, что позволяет оценить точность проверки предложенного закона взаимодействия. Ньютон приводит необходимые для оценки данные: «Производя таким образом испытания над маятниками длиной 10 футов (3,05) и над массами равными и неравными и пуская тела так, чтобы они встречались, пройдя большие промежутки, например 8, 12, 16 футов⁷ (2,44; 3,66; 4,88), я получал с ошибкою, меньшею 3 дюймов (0,0762), в измерениях, что при прямом ударе между телами изменения их количеств движения были равны и направлены в стороны противоположные, откуда следует, что действие и противодействие между собою равны» [там же].

Проведем соответствующий расчет. Допустим, что массы сталкивающихся шаров равны. Тогда, если каждый из них прошел до столкновения промежутков в 4 фута, то ошибка в 3 дюйма составляет $\epsilon = 2\%$, что для механического эксперимента того времени следует считать хорошим результатом. Отметим, что для наибольшего разведения шаров $\epsilon \leq 1\%$.

Ньютон не стеснялся сообщать о небольшом расхождении с предсказаниями теории. Более того, он откровенно указывал на технические трудности проведения опытов: «Ошибки в один или два дюйма при измерениях следует приписать трудности произвести их достаточно точно. Была также трудность и в том, чтобы пустить оба тела так, чтобы они одновременно приходили в низшее свое положение, а также чтобы заметить места s и k , до которых тела поднимались после встречи. Неравномерное распределение плотности и неравномерность строения тел, происходящие от случайных причин, также приводят к погрешностям» [22, с. 53].

⁷ Под «промежутками» Ньютон, по-видимому, понимал сумму длин соответствующих хорд, которые пропорциональны скоростям тел перед столкновением.

Экспериментируя с маятниками, Ньютон показал также, что равенство действия и противодействия остается справедливым и при соударении неупругих тел (в качестве таковых он использовал мячи, плотно смотанные из шерсти, а затем обжаты).

К фундаментальным экспериментам следует отнести и опыт по проверке пропорциональности между массой и весом, описанный в третьей книге «Начал». В нем Ньютон (подобно Галилею) наблюдал за качаниями двух маятников, образованных «кадочками», которые висели на нитях длиной 11 футов (3,35), причем одна была заполнена деревом, а в другой помещалась равная масса золота, которая располагалась в центре качаний. Из того, что колебания двух маятников, «совершенно одинаковых по весу, форме и сопротивлению воздуха», в течение длительного времени происходили синхронно, Ньютон заключил, что «количество вещества (масса) в золоте... относилось к количеству вещества в дереве, как действие движущей силы на все золото к ее действию на все дерево, т. е. как вес одного к весу другого» [22, с. 515]. Особенностью этого опыта были дополнительные измерения, на основе которых было установлено, что для тел одинакового веса разность масс (если бы она существовала) могла бы быть обнаружена, если бы она составляла менее одной тысячной полной массы. Сам Ньютон не указывал, каким образом получена эта оценка чувствительности метода. Можно предположить, что он определил минимальное регистрируемое различие в периодах колебаний двух маятников, а отсюда уже рассчитал соответствующую величину разности масс. Заметим, что Ньютон и т. д.)⁸.

Причины постановки подобных опытов легко понять. Ньютону требовалось более точное, чем давали эксперименты его предшественников, подтверждение основных положений теории. Не имея привычки безоговорочно полагаться на наблюдения даже самых авторитетных ученых (о чем свидетельствуют его оптические исследования), автор «Начал» проводил специальные измерения. О причинах проведения опытов второй группы вряд ли можно судить с той же однозначностью.

Большой цикл экспериментов Ньютона посвящен исследованию сопротивления, которое оказывают различные среды движению тел. Их теоретической основой служат выводы, полученные в отделе VI второй книги, который называется «О движении маятников при сопротивлении». Для общей характеристики этих опытов приведем некоторые данные относительно экспериментальной установки. Расстояние от точки, где подвешен маятник, практически во всех опытах составляло $10\frac{1}{2}$ фута (3,2). Диаметр шаров, образующих тело маятника, менялся от 2 до $18\frac{3}{4}$ дюйма (0,051—0,476), их массы — от $26\frac{1}{4}$ до 208 римских унций (0,82—6,47). Начальные углы отклонений менялись в широких пределах — от 0,9 до 30°.

Представляет интерес определение длительности одного эксперимента. В одном из опытов с маятником, тело которого представляло собой деревянный шар, Ньютон насчитал 374 колебания до того момента, как первоначальное отклонение в 2 дюйма уменьшилось на одну четверть. Маятник длиной $l=3,2$ м без учета сопротивления воздуха характеризуется периодом $T=2\pi\sqrt{l/g}\simeq 3,6$ с. Следовательно, время наблюдения составляло около 23 мин, т. е. оно было весьма продолжительным, что не было характерно для физики XVII в.

Ньютон проводил опыты с маятниками не только в воздухе, но и в воде и ртути. Он пришел к выводу, что сопротивление ртути движению

⁸ Отметим, что эти опыты Ньютона были повторены в 1828 г. Ф. Бесселем [24]. Идейно связанные с ними эксперименты, являющиеся обоснованием принципа эквивалентности, проводились и позднее, проводятся и в наши дни (см., например, [25, 26]).

шарообразного тела приблизительно во столько же раз больше сопротивления воды, во сколько раз плотность ртути превосходит плотность воды. Ньютон, правда, остался недоволен точностью проделанных опытов: сосуд, в котором находилась ртуть и двигался свинцовый шар, был «несколько узковат». Намерение Ньютона провести эти опыты в более широких сосудах, а также с жидкостями при различных температурах, не было реализовано из-за недостатка времени.

Охарактеризовать точность опытов Ньютона с маятниками труднее, чем его эксперименты первой группы из-за отсутствия каких-либо абсолютных критериев. О том, что она все же была достаточно высокой, говорят результаты наблюдений С. В. Вяхирева⁹ — сотрудника Морского министерства, который по инициативе А. Н. Крылова повторил в 1915 г. опыты с маятниками [27]; его результаты хорошо согласуются с данными Ньютона.

В целом эксперименты с маятниками, как уже отмечалось, были направлены на решение частной задачи. Ньютон определял коэффициенты в слагаемых формулы, определявшей общее сопротивление движению тела, которые зависели от различных степеней скорости. Однако последний опыт этого раздела касается более фундаментальной проблемы — существования эфира. Ньютон писал: «Есть мнение, что существует некоторая чрезвычайно тонкая эфирная среда, свободно проникающая через поры и промежутки между частицами всяких тел; от такой среды, при течении ее через поры тел, должно было бы происходить сопротивление, поэтому я произвел испытания, чтобы определить, сосредоточено ли полностью сопротивление, испытываемое телами при движении, на их наружной поверхности или же внутренние части тел претерпевают заметное сопротивление» [22, с. 419]. Суть опыта состояла в сравнении затухания колебаний «еловой кадочки» в двух случаях: когда она заполнялась свинцом и когда она была пустой. Результаты наблюдений привели Ньютона к заключению, что «сопротивление на внутренние частицы порожней кадочки в 5 с лишком тысяч раз меньше, нежели сопротивление на ее наружную поверхность». Ньютон понимал ограниченность этого вывода, основанного на предположении, что различия в колебаниях заполненной и порожней кадочки связаны лишь с действием эфира. Возможно, на мысль о неполном устранении побочных факторов Ньютона навела неудача первых опытов, в которых использовался недостаточно прочный крюк: его изгиб менялся в процессе колебаний, что приводило к значительно большему затуханию заполненной кадочки. В последующих опытах указанный недостаток был устранен. Р. Вестфол высказал предположение, что результат этого опыта способствовал ослаблению приверженности Ньютона к идее о существовании эфира [30].

Следует обратить внимание на то, что опыты с маятниками, колеблющимися в средах с сопротивлением, описаны гораздо подробнее, чем опыты первой, «фундаментальной» группы, и для их анализа используются гораздо более изощренные математические средства. Может показаться, что здесь нарушены какие-то пропорции. Однако в действительности это не так. Характер представления материала во второй книге «Начал» отражает общее методологическое кредо Ньютона, нашедшее свое наиболее яркое выражение в знаменитом высказывании «гипотез не измышляю». Несмотря на декларацию неприятия гипотез, Ньютон на протяжении всей второй книги широко ими пользуется. Но это не означает, что он отказывается от своих принципов. Ньютон выдвигает лишь такие гипотезы, которые могут быть проверены экспериментом, и сам проводит необходимые опыты. Среди его современников не было никого,

⁹ С. В. Вяхирев был опытным экспериментатором и специалистом по обработке данных наблюдений, о чем говорят опубликованные материалы различных испытаний [28, 29].

кто мог бы с такой же тщательностью провести количественный эксперимент в области механики, а затем столь же искусно обработать полученные результаты. Теория центральных сил, составляющая содержание первой книги подкреплена богатым астрономическим материалом (который в полной мере используется в третьей книге), и поэтому Ньютон не видел необходимости в проведении специальных «земных» экспериментов.

С этих же позиций следует рассматривать и цикл экспериментов Ньютона по изучению падения тел. Задача о свободном падении тел к началу его работы уже имела длительную историю [31]. Ньютон обсуждал закономерности падения в 1679 г. в переписке с Р. Гуком, который даже провел опыты для доказательства вращения Земли по схеме, предложенной Ньютоном [32, с. 301—314]. В «Началах» опыты с падением тел имеют несколько иную окраску. Здесь Ньютон исследовал падение свинцовых шаров в вертикальных сосудах, наполненных воздухом или водой. Эти опыты не отличались разнообразием — в них измерялось время падения шаров с определенной высоты; они походили на эксперимент Гюйгенса, описание которого было дано выше. Для сравнения приведем отрывок из «Начал».

«Опыт 1. Шар, вес которого в воздухе был $156\frac{1}{4}$ гранов (0,01) и 77 гранов (0,05) в воде, прошел полную высоту 112 дюймов в 4 секунды. При повторении опыта шар опять падал в продолжении тех же 4 секунд.

Вес шара в пустоте есть $156\frac{13}{38}$ гранов, и избыток его веса над весом воды $79\frac{13}{38}$ гранов; отсюда следует, что диаметр этого шара равен 0,84224 дюйма (0,021).

Плотность воды относится к плотности этого шара, как избыток его веса над весом воды к весу самого шара; в таком же отношении находятся и восемь третей диаметра шара (т. е. 2,24597 дюйма) к длине $2F$, которая поэтому равна 4,4256 дюйма. Шар в продолжении 1 секунды, падая под действием полного своего веса $156\frac{13}{38}$ гранов в пустоте, проходит путь, равный $193\frac{1}{3}$ дюймам; под действием силы в 77 гранов в то же время без сопротивления прошел бы в воде 95,219 дюймов, в продолжение же времени G , которое составляет от 1 секунды такую же долю, как $\sqrt{F}$ от $\sqrt{95,219}$, т. е. $\sqrt{\frac{2,2128}{95,219}}$, шар пройдет путь, равный 2,2128, и до-

стигнет своей наибольшей возможной скорости в воде. Следовательно, время $G=0,15244$ секунды. В продолжение этого времени G , двигаясь со своею наибольшей скоростью H , шар проходит путь $2F=4,4256$ дюйма, следовательно, в продолжение 4 секунд он прошел бы путь 116,1245 дюймов. Вычитая пространство 1,3862944 $F=3,0676$ дюйма, получим в остатке 113,0569 дюймов, которые должен бы пройти шар в 4 секунды, двигаясь в воде в безграничном сосуде. Эту величину надо уменьшить ввиду узости сосуда в отношении, равном произведению корня квадратного из отношения площади сечения сосуда к избытку этой площади над половиною площади большого круга шара на отношение площади того же сечения к избытку ее над площадью большого круга, что составляет 1:0,9914. Сделав это, получаем 112,08 дюймов, которые и должен бы проходить шар, падая в продолжение 4 секунд в упомянутом деревянном сосуде, согласно теории. Прошел же он при испытании 112 дюймов» [22, с. 457].

Сравнение данного отрывка с описанием Гюйгенса показывает, что Ньютон использует гораздо более тонкую процедуру обработки данных опыта. Отчасти это обусловлено спецификой задачи, но важнее здесь другое. Ньютон не ставит перед собой задачу получить абсолютно точное совпадение данных опыта и предсказаний теории. Здесь, как и в других опытах (это уже отмечалось выше), он указывает на имеющееся различие. Конечно, в данном случае оно ничтожно мало ($\varepsilon \approx 7 \cdot 10^{-4}$), но для Ньютона его существование принципиально. Он не верит в абсолютно

точное подтверждение теории (что было характерно для многих его современников), считая расхождение между теорией и опытом не только естественным, но и необходимым, поскольку оно свидетельствует о достаточной точности измерений. В этой связи представляют интерес соображения Ньютона относительно возможных причин малых отклонений данных опыта с падением тел от предсказаний теории.

В пояснении к одному из экспериментов он указывает на прилипание к шарам пузырьков воздуха, некоторое расширение воска, которым покрывались свинцовые шары, от тепла руки или изменения погоды. В другом месте он указывает на колебания, которые могут возникать вследствие несимметричного распределения массы шара относительно линии падения. Эти замечания лишний раз говорят о тонкой наблюдательности Ньютона и его умении вникать в мельчайшие детали опыта, о чем чаще всего говорится в связи с его оптическими работами. Заметим также, что Ньютон, опять-таки в отличие от многих современников, не вкладывает в слова «измерил со всей возможной тщательностью» абсолютный смысл и допускает, что даже при исключительной аккуратности в результаты опытов могут вкрадываться погрешности.

Однако не следует впадать в преувеличение и представлять Ньютона почти современным физиком-экспериментатором. Проведение опытов и расчетов, предназначенных для сравнения выводов теории и результатов эксперимента, с точностью до восьми значащих цифр — характерная особенность начального этапа в развитии физического эксперимента, которую можно обнаружить и в работах ученых конца XVIII в. [33, с. 320].

Приведенными примерами не исчерпываются эксперименты Ньютона по механике, описанные в «Началах». Мы постарались выбрать лишь наиболее характерные, рассмотрение которых позволяет дать обоснованные ответы на поставленные в начале статьи вопросы.

Опыты Ньютона по механике находились в русле тех экспериментальных исследований, которые проводили и его непосредственные предшественники, и современники. Однако в целом они существенно превосходили другие эксперименты по методическому уровню и глубине анализа результатов. Можно утверждать, что качество механических опытов Ньютона несколько не уступает качеству его более известных оптических экспериментов.

Мотивы постановки опытов по механике и их включения в «Начала» связаны с методологической установкой ученого. Он закладывал «математические начала» теории, но эта теория относилась к природе и, следовательно, по мнению Ньютона, должна была основываться на данных эксперимента. Там, где положения теории казались ему достаточно обоснованными, Ньютон ограничивался ссылками на повседневный опыт, инженерную практику, наблюдения других ученых. Но если дело касалось положений и выводов, не имевших под собой экспериментальной базы, либо если обоснование не обладало необходимой точностью, Ньютон ставил эксперимент сам. Так он реализовывал на практике положение, которое сформулировано в общем получении, завершающем «Начала»: «Все же, что не выводится из явлений, должно называться *гипотезой*, гипотезам же метафизическим, физическим, механическим, скрытым свойствам не место в экспериментальной философии» [22, с. 662].

Литература

1. Wallis P., Wallis R. Newton and Newtoniana. 1672—1975. Kent, 1977.
2. Погребысская Е. И. Оптика Ньютона. М., 1981.
3. Hall A. R., Hall M. B. Newton's chemical experiments//Arch. Int. Hist. Sci. 1958. V. XI (43).
4. Strutt R. J. Spinning and floating bodies in an electric field: development of an experiment of sir Isaac Newton//Proc. Phys. Soc. 1944. V. 56. № 2.
5. Guerlac H. Francis Hauksbee: experimentateur au profit de Newton//Arch. Int. Hist. Sci. 1963. V. 16. № 1. P. 113—128.

6. Ruffner J. A. Reinterpretation of the genesis of Newton's Law of cooling//Arch. Hist. Exact Sci. 1962—1965. V. 2. № 2.
7. Griggall U. Newton's temperature scale and the law of cooling//Wärme- und Stoffübertragung. 1984. V. 18. № 4.
8. Койре А. Гипотеза и эксперимент у Ньютона//Койре А. Очерки истории философской мысли/Под ред. А. П. Юшкевича. М., 1985. С. 175—203.
9. Rayleigh R. Newton as an experimenter//Proc. Roy. Soc. Ser. A. 1943. V. 181. № 986.
10. Cohen I. B. Introduction to Newton's «Principia». Cambridge, 1971.
11. Herivel J. The background to Newton's «Principia». A study of Newton's dynamical researches in the years 1664—1684. Oxford, 1965.
12. Ball W. W. R. An essay on Newton's «Principia». L., 1961.
13. Thuillier P. Galilée et l'expérimentation//La Recherche. 1983. V. 14. № 143.
14. Drake S. Galileo's experimental conformation of horisontal inertia. Inpublished manuscripts//Isis. 1973. V. 64.
15. Koyré A. An experiment in measurement//Proc. Amer. Phil. Soc. 1953. V. 97. № 2. P. 222.
16. Галилей Г. Беседы и математические доказательства...//Галилей Г. Избр. труды в двух томах. Т. 2. М., 1964.
17. Гюйгенс Х. Маятниковые часы//Гюйгенс Х. Три мемуара по механике. Л., 1951.
18. Hall A. R. Mechanics and the Royal Society, 1668—1670//Brit. J. Hist. Sci. 1966—1967 V. 3. P. 1. № 9. P. 24—38.
19. Birch T. The history of the Royal Society of London. V. 1. L., 1756. P. 124, 192, 195—197.
20. Sprat T. History of the Royal Society. L., 1667.
21. Unpublished scientific papers of Isaac Newton/Eds Hall A. R., Hall M. B. Cambridge, 1962.
22. Ньютон И. Математические начала натуральной философии/Собр. тр. академика А. Н. Крылова. Т. VII. М.—Л., 1936.
23. The correspondence of Henry Oldenburg/Eds Hall A. R., Hall M. B. V. V. Madison (Wisc.), 1968.
24. Bessel F. W. Versuche über die Kraft, mit welcher die Erde Körper von verschiedener Beschaffenheit anzieht. Abh. d. Akad. zu Berlin, 1830.
25. Eötvös R., Perar D., Fekete E. Beiträge zur Gesetze der Proportionalität von Tragheit und Gravität. Annalen der Physik, 1922. B. 68. S. 1—56.
26. Брагинский В. Б., Панов В. И. Проверка эквивалентности инертной и гравитационной масс//ЖЭТФ. 1971. Т. 61. Вып. 3. С. 873.
27. Вяхирев С. В. Опыты над сопротивлением воздуха качаниям маятника//Собр. тр. академика А. Н. Крылова. Т. VII. М.—Л., 1936. С. 687—696.
28. Прогрессивные испытания крейсера «Кагул»... Результаты испытаний обработал С. В. Вяхирев. СПб., 1914.
29. Вяхирев С. В. Об испытании баржей системного типа в Опытном судостроительном бассейне//Водн. транспорт. 1923. № 2. С. 139—158.
30. Westfall R. S. Uneasily fitful reflections on fits of easy transmission//The Texas Quarterly. 1967. V. 10. № 3. P. 86—102.
31. Koyré A. A documentary history of the problem of fall from Kepler to Newton//Trans. Amer. Phil. Soc. 1955. V. 45. P. 4.
32. The correspondence of Isaac Newton. V. 2. Cambridge, 1960.
33. Дорфман Я. Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. М., 1974.

АНГЛИЙСКИЙ ОБРАЗ МИРА И МЕХАНИКА НЬЮТОНА

Г. Д. ГАЧЕВ

Каждая научная теория создается не только в контексте своей эпохи, но и в контексте национальной культуры своего народа. В записной книжке Ф. М. Достоевского за 1863 г. есть такая запись: «У них великий аргумент, что наука общечеловечна, а не национальна. Вздор, наука везде и всегда была в высшей степени национальна — можно сказать, наука есть в высочайшей степени национальность.

$2 \times 2 = 4$ — не наука, а факт.

Открыть, отыскать, все факты — не наука, а работа над фактами есть наука и т. д.» [1, с. 176].

«Работа» ж «над фактами» есть их облечение всей духовной культурой. Как в силовом поле располагаются опилки по определенным лини-