

ФИЛОСОФСКИЕ ВИДОИЗМЕНЕНИЯ
НЬЮТОНОВСКОГО ПОНЯТИЯ МАССЫ

Систематизация Ньютоном понятия массы и выяснение его отношения к понятию веса имело решающее значение не только для развития механики и физики, но и для науки вообще. В механике масса стала рассматриваться в качестве фундаментальной характеристики тел и в конечном счете отождествляться с телом. «Определение физических тел как масс было значительным достижением, необходимым в современной механике, вслед за природой пространства, исследовавшейся Галилеем и Декартом, и природой времени, описанной Барроу»¹.

В области химии систематизация массы способствовала ниспровержению алхимии и дала основу для возникновения современной количественной химии. Необходимо напомнить, что вес для алхимика был несущественным свойством материи: увеличение веса с необходимостью не связывалось с притоком дополнительной материи. Другими словами, количество материи необязательно должно изменяться, если, например, свинец становится золотом и увеличивается в весе в процессе своей трансмутации. Алхимики были убеждены, что небольшое количество магистериума может превратить несколько фунтов свинца в тысячи фунтов золота², и очень редко рекомендовали весы в качестве инструмента исследований. Николай Кузанский в своем диалоге «О статических опытах»³ рассматривает взвешивание как наиболее надежный и наиболее точный метод исследования, так как Бог

¹ Edwin Arthur Burt t, *The metaphysical foundations of modern science* (Doubleday, New York, 1954), p. 240.

² Johannes Wislicenus, *Die Chemie und das Problem der Materie* (Leipzig, 1893), S. 24.

³ Nicholas o Cusa, *Opera omnia*, Hrsg. C. Baur (Leipzig, 1937).

сотворил мир в соответствии с «мерой, числом и весом»⁴. Но мнение Николая Кузанского было исключением. Использование весов в качестве систематического метода в химических и физических исследованиях получило свое научное обоснование и логическое оправдание только в работах Ньютона и в особенности благодаря выявлению пропорциональности между массой и весом.

Такое мнение не было неоспоримым даже спустя значительное время после опубликования «Начал». В этом можно убедиться, если изучить, например, теорию материи Лейбница. В 1716 году в своем пятом письме к Кларку Лейбниц писал: «Что касается ртути, то она в самом деле содержит приблизительно в 14 раз больше тяжелой материи, чем вода того же объема, но из этого не следует, что она в абсолютном смысле содержит в 14 раз больше материи»⁵.

Теория материи у Лейбница и в особенности его понятие массы являются чрезвычайно сложными. Кутюра в своей интересной статье «Система Лейбница, изложенная Кассирером»⁶ заявляет, что введение понятия массы принадлежит Лейбницу⁷. В то же время Мах решительно отрицает, что Лейбниц имел понятие массы⁸. Каким же образом могло случиться, что два таких проникательных исследователя, как Кутюра и Мах, так очевидно противоречат друг другу?

Оригинальное лейбницевское понятие массы существенно отличается от ньютоновского понятия. В письме (апрель 1669 года) к Якобу Томазиу, своему любимому

⁴ Ibid., «Liber sapientiae», chap. 11, sec. 21.

⁵ «Полемика Г. В. Лейбница и С. Кларка по вопросам философии и естествознания (1715—1716)», Л., 1960, стр. 75.

⁶ См. Louis Couturat, «Revue de métaphysique et de morale» 11, 83—99, (1903).

⁷ «L'invention du concept de masse ne constituait pas seulement un progrès capital de la mécanique: elle permettait à Leibniz de dissocier complètement l'idée de matière de l'idée d'étendue, puisque le coefficient appelé masse est une quantité numérique, et non une grandeur spatiale»*.

⁸ Э. Мах, Механика, стр. 253: «Настоящее понятие массы Лейбниц столь же мало имеет, как и Декарт. Он говорит о теле (corpus), о тяжести (moles), о телах неравной величины, но одного и того же удельного веса и т. д. Только во второй статье (1695) встречается раз выражение «massa», заимствованное, вероятно, у Ньютона».

учителю в Лейпцигском университете, Лейбниц писал: «Первоначальная материя представляет собой саму массу, в которой нет ничего, кроме протяженности и антитипии, или непроницаемости»⁹. Лейбницевская теория материи может быть понята только в свете его учения о монадах. Первоначальная материя (*materia prima*), согласно Лейбницу, не является телом, но присуща «бытию монады». Вторичная материя (*materia secunda*), напротив, не имеет отношения к самим монадам, но принадлежит группе или скоплению монад; это основано на онтологическом отношении между монадами подчиненными и господствующими; подчиненные монады рефлектируют благодаря своей природе с меньшей степенью ясности и являются также более пассивными. Они в свою очередь содержат также вторичную материю, благодаря тому что другие монады подчиняются им, и так до бесконечности. Полностью инертная материя становится, таким образом, предельным понятием.

Лейбниц применяет те же самые термины первичной и вторичной материи и к воспринимаемому миру, то есть миру как объекту физического исследования, а не метафизических размышлений. Первоначальная материя, или масса, как говорит Лейбниц в своем письме к Томазию, является в данном случае абстракцией; она представляется просто как тело, занимающее пространство и препятствующее другим телам занимать то же самое пространство. Протяженность и антитипия (излюбленный термин Лейбница для обозначения непроницаемости¹⁰) являются,

⁹ «*Materia prima est ipsa Massa in qua nihil aliud quam extensio et antitypia seu impenetrabilitas*». «Letter to Jacob Thomasius, April 1669», в: «*Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz*» (Berlin, 1880), Bd. 4, S. 165. Утверждение Маха, поскольку речь идет о дате (1695), является, как мы видим, ошибочным.

¹⁰ «*Commentatio de anima brutorum, Opera philosophica quae extant, latine, gallica, germanica omnia*», ed. J. E. Erdmann (Berlin, 1840), part 1, p. 463. В письме к Вагнеру (*Epistola ad Wagnerum de vi activa corporis*, 1710) Лейбниц писал: «*Principium activum non tribui a me materiae nudae sive primae, quae mere passiva est, et in sola antitypia et extensione consistit*». («Активный принцип, по моему, не свойствен материи в чистом виде, которая совершенно пассивна, непроницаема (*antitypia*) и протяженна»); *Ibid.*, p. 466. Термин «антитипия» первоначально употреблялся Плутархом и Секстом Эмпириком и имел в то время единственное значение — твердости.

таким образом, атрибутами первоначальной материи. В другом случае Лейбниц сохраняет за вторичной материей термин «масса», который, по его мнению, является менее абстрактным понятием в силу того, что к нему добавлен признак активности. Так, в письме к Иоганну Бернулли Лейбниц характеризует первоначальную материю посредством слова *moles*, а вторичную материю выражает словом *massa*: «Материя в себе, или *moles*, которая может быть названа первичной материей, не есть субстанция и не есть даже агрегат субстанций, но представляет собой нечто несовершенное. Вторичная материя, или масса, не может рассматриваться в качестве одной субстанции, но как множество субстанций»¹¹. Масса представляет собой собрание нескольких сущностей, подобно сачку с рыбой или стаду овец. Она есть свойство множества и как таковая принадлежит единичному только в частном случае. В этом отношении понятие массы подобно понятию пространства, которое, согласно Лейбницу, образуется путем гипостазирования системы отношений и приписывания ей онтологического существования¹².

Хотя первоначально масса просто характеризует твердость, тем не менее она играет важную роль в воспринимаемом мире. Дело в том, что нельзя понять поведение физических тел, если, кроме протяженности и непроницаемости, не допустить существование некоторого свойства тел, благодаря которому «большое тело труднее привести в движение, чем малое тело»¹³. Лейбниц, хорошо

¹¹ «Leibnizens mathematische Schriften», Hrsg. G. I. Gerhardt (Halle, 1856), Bd. 3, Teil 2, S. 537: «*Materia ipsa per se, seu moles, quam materiam primam vocare possis, non est substantia; imo nec aggregatum substantiarum, sed aliquid incompletum. Materia secunda, seu massa, non est substantia, sed substantiae; ita non grex, sed animal; non piscina, sed piscis, substantia una est*». Точно такое же различие в терминах содержится и в его «*De ipsa natura, sive de vi insita actionibusque creaturarum*», «*Opera omnia*», vol. 2, part 2, p. 54.

¹² См. Мах J a m m e r, *Concepts of Space*, p. 114—117. Лейбницевское понятие массы как понятие класса снова появляется в кинематической теории Р. И. Бошковича. См. L. L. W h y t e, *Boscovich and particle theory*, «*Nature*» 179, 284—285 (1957).

¹³ «Мы замечаем в материи свойство, которое называют естественной инерцией. В соответствии с этим свойством тело некоторым образом сопротивляется движению; при этом необходимо приложить некоторую силу, чтобы привести его в движение (даже если

знавший о том, что в картезианской физике отсутствует это фундаментальное понятие, приписывает, таким образом, инерцию массе в качестве вторичной материи. Одна геометрия не может описать пространственно-временное поведение тел, взаимодействующих друг с другом¹⁴. В соответствии с физическим опытом понятие инертной массы становится для Лейбница теоретической необходимостью, и эта необходимость опирается на эмпирическую достоверность равенства причины и действия.

Трудно оценить, до какой степени лейбницевское понятие массы, как оно здесь описано, непосредственно обусловлено трудами Ньютона. Что касается Кеплера, которого он часто упоминает в этой связи, то Лейбниц, конечно, обязан многому из его физических размышлений. Понятие массы у Лейбница, излагаемое в его «Динамике силы и законов телесной природы» (1689), которую он начал писать во время своей поездки в Рим, все больше и больше приближается к понятию Ньютона¹⁵. Действительно, в этот период определение массы Лейбницем, несмотря на его открытую оппозицию к ньютоновской теории гравитации, является полностью ньютонианским: «Массы движущихся тел относятся друг к другу как их объемы и плотности или как протяженность и концентрация материи»¹⁶.

Лейбниц всегда настаивал на том, что его физика должна находиться в согласии с его теологическим учением, и при этом без допущения какого-либо взаимного

не принимать во внимание его вес), и большое тело труднее поддается движению, чем маленькое тело» [*Journal des sçavans*] (18 juin 1691), p. 259. Ср. «Opera», p. 142, сноска 10].

¹⁴ «Если бы тела характеризовались лишь размерами и положением, как представляют это геометры, то в соответствии с одним лишь понятием изменения эти размеры были бы полностью независимы от изменения, и результаты взаимодействия тел должны были бы объясняться лишь геометрическими конфигурациями движения, что полностью противоречит опыту» («*Leibnizens mathematische Schriften*», Bd. 6, S. 240).

¹⁵ Именно в Риме через «*Acta eruditorum*» Лейбниц получил первую информацию о «Началах» Ньютона.

¹⁶ «*Dynamica de potentia et legibus naturae corporea*», part 1, chap. 2, proposition 3: «*Moles mobilium, vel ipsa mobilia, sunt in ratione composita voluminum et densitatem, seu extensionum et intensionum materiae*»; ср. «*Leibnizens mathematische Schriften*», Bd. 6, S. 298.

влияния. Нельзя применять никаких духовных принципов для объяснения физических явлений, и никакие физические законы не могут быть использованы для интерпретации религиозных событий. Показ того, что религиозное событие возможно, что оно логически совместимо с законами физики, не означает объяснения его посредством физики. Следовательно, если Лейбниц использует понятие массы как врожденное свойство материи наряду с протяженностью и непроницаемостью для того, чтобы показать физическую возможность таинства евхаристии, то он тем самым не нарушает своих принципов: «В откровенной теологии я пытаюсь показать не фактическую истинность, но возможность таинства... возможность троицы, воплощения и евхаристии»¹⁷.

Протяженность, настаивает Лейбниц, предполагает нечто простирающееся, нечто расширяющееся и непрерывное. В молоке это белизна, в алмазе твердость; в телах вообще существует, таким образом, нечто, предшествующее протяженности, а именно действие и движение. Будучи в состоянии оказывать сопротивление, даже если речь идет только о противодействии изменению движения, масса сама должна быть источником силы, динамической сущностью¹⁸. Таким образом, масса в окончательно развитой системе Лейбница становится носителем или вместилищем активности и энергии.

Обозревая ретроспективно различные фазы лейбницевого понятия массы, в их формулировках, соответствующих различным аспектам его философской системы,

¹⁷ «Die philosophischen Schriften von G. W. Leibniz», Bd. 1, S. 61, 75: «In Theologia Revelata übernehme ich zu demonstriren, nicht zwar veritatem (denn die flaut a revelatione), sondern possibilitatem mysteriorum, contra insultos infidelium et Atheorum, dadurch sie von allen contradictionibus vindicirt werden, nehlich possibilitatem Trinitatis, incarnationis, Eucharistiae... Ich aber bin endlich durch tieffe untersuchungen dahin kommen, dass ich possibilitatem mysteriorum Eucharistiae, wie sie in Concilio Tridentino erkläret werden, salva philosophiae emendata, welches vielen unglaublich vorkommen wird, zu demonstriren mir getraue. Ich will weissen vi principiorum philosophiae emendatae necesse est, ut datur in omni corpore principium intimum incorporeum substantiale a mole distinctum, et hoc illud esse, quod veteres, quod Scholastici substantiam dixerint, etsi nequiverint se distincte explicare multo minus sententiam suam demonstrare»*.

¹⁸ M a x J a m m e r, Concepts of force, chap. 9.

а также эволюцию самого понятия от непротяженного атомизма до энергетического динамизма, нетрудно понять, что для философа оно представляет собой предмет, несомненно достоверный, а для ученого — предмет методологически необоснованный. Противоречие между Кутюра и Махом в связи с этим может получить объяснение.

Динамическая интерпретация массы, данная Лейбницем, ведет по крайней мере к одному важному результату для физической науки: эта интерпретация подчеркивает проблематичность логического статуса и физического значения несколько парадоксального понятия силы инерции и, таким образом, ведет к элиминации этого понятия Иммануилом Кантом.

Для Ньютона масса была носителем силы инерции, а количество материи было пропорционально этой силе. В семнадцатом и восемнадцатом столетиях понятие силы инерции не было математической фикцией или искусственным построением, каким оно рассматривается в настоящее время в связи с принципом Д'Аламбера¹⁹ или в связи с инерциальным поведением весомой материи при преобразованиях координатных систем. Это была физически существующая онтологическая реальность, сравнимая с любой другой известной физической силой, и она играла в то время важную роль в трактатах по механике.

Исследование Кантом онтологического и методологического статуса силы инерции было его главным вкладом в фундаментальные проблемы физики. Удивительно, что, несмотря на обширную литературу по всевозможным аспектам кантовской философии, на этот важный вклад Канта, кажется, еще не обращалось внимание. Проблема массы и ее отношение к инерции является главным предметом четырех произведений Канта, три из которых относятся к докритическому периоду.

В «Мыслях об истинной оценке живых сил»²⁰, впервые опубликованных в 1746 году, Кант предлагает следовать

¹⁹ В современной формулировке принципа Д'Аламбера силой инерции обычно называется величина $-d(mv)/dt$. Результирующая инерциальных сил и приложенных сил известна как эффективная сила, работа которой равна нулю для возможных перемещений, допускаемых связями системы.

²⁰ См. И. Кант, Сочинения в шести томах, т. 1, «Мысль», М., 1963.

Аристотелю и Лейбницу, приписывая каждому физическому телу врожденную силу, которой оно обладает еще до протяжения. «Не было бы никакого пространства и никакого протяжения, если бы субстанции не обладали никакой силой действовать вовне. Ибо без этой силы нет никакой связи, без связи — никакого порядка и, наконец, без порядка нет никакого пространства»²¹.

В «Физической монадологии», в которой еще видно влияние Лейбница и Вольфа, Кант сводит непроницаемость материи (положение восьмое) и ее инерцию (положение одиннадцатое) к силам, присущим материи. Каждый элемент физического тела обладает инерциальной силой в той мере, которая изменяется от элемента к элементу²². В первом королларии к положению одиннадцатому Кант еще характеризует силу инерции как особого рода движущую силу, а во втором королларии он определяет массу как величину этой силы²³.

Однако два года спустя в «Новой теории движения и покоя» (1758) Кант выдвигает первые возражения против обоснованности понятия силы инерции. Напомним, что Ньютон в своих пояснениях к третьему определению «Начал» применяет понятие силы инерции в случае столкновения двух тел — в качестве противодействия «инертного» тела давящей силе. Кант, который до этого следовал Ньютону, в данном случае ставит интересный вопрос: как может быть внезапно нарушено равновесие действующих на тело сил, и именно так, что при этом возникает сила, которая действует в противоположном направлении в сравнении с приближающимся телом? Пытаясь свести обсуждаемое явление к принципу действия и противодействия, благодаря которому покоящееся тело должно рассматриваться как движущееся относительно приближающегося тела²⁴, Кант делает вывод, что хотя понятие

²¹ См. И. К а н т, Соч. т. 1, стр. 69.

²² Там же, стр. 333: «Сила инерции любого элемента по сравнению с силой инерции элемента какого-нибудь другого вида может быть либо меньшей, либо большей».

²³ Там же: «Масса тел есть не что иное, как количество силы инерции, посредством которой они либо сопротивляются движению, либо, будучи приведены в движение с известной скоростью, в состоянии сообщить телу определенный импульс».

²⁴ Там же, стр. 382: «Но так как я доказал, что то, что ошибочно рассматривалось как состояние покоя по отношению к уда-

силы инерции и удобно для формулировки и выводов законов механики, тем не менее это понятие, в сущности, излишне. Наконец, в «Метафизических началах естествознания»²⁵, опубликованных спустя пять лет после «Критики чистого разума», Кант полностью отвергает ньютоновское понятие силы инерции, несмотря на тот факт, что самим предметом этой работы были философские основания механики Ньютона. Поскольку движение может противостоять движению, а не покою²⁶, то не инерция материи (ее неспособность двигаться) оказывает сопротивление движущей силе. Сила, которая сама не вызывает движения, представляет собой слово, не имеющее смысла²⁷. Понятие силы инерции должно быть устранено из естествознания, замечает Кант, несмотря на прославленное имя того, кто ввел это понятие. И не просто в силу парадоксальности названия, но потому, что сам термин заключает в себе противоречие. Вместо силы инерции Кант постулирует закон инерции, полагая, что этот закон соответствует категории причинности: любое изменение в состоянии движения имеет внешнюю причину²⁸. Что же можно сказать относительно понятия массы, которое первоначально Кант не отличал от величины этой силы? Согласно Канту, количество материи теперь есть величина активности в определенном объеме, а масса есть количество материи, рассматриваемой в то же время как активность²⁹. В теореме 1 Кант определенно заявляет: «Количество материи в сравнении со всякой другой измеряется количеством движения

рящему телу, в действительности есть по отношению к нему некоторое движение, то ясно само собой, что упомянутая сила инерции придумана без всякой нужды и что при каждом ударе имеет место движение одного тела по направлению к другому телу, которое с равной степенью силы двигается навстречу первому, чем очень легко и понятно объясняется равенство действия и противодействия без всякой необходимости придумать еще какой-то особый вид силы природы. При всем том эта общепринятая сила чрезвычайно удобна для того, чтобы безошибочно и легко вывести из нее все законы движения».

²⁵ И. К а н т, Соч., т. 6.

²⁶ Там же, стр. 160.

²⁷ Там же.

²⁸ Там же.

²⁹ Там же, стр. 143.

при данной скорости»³⁰. Хотя изложение этих идей Кантом не всегда достаточно ясно и современный читатель может не найти здесь дополнительной информации операционального значения, тем не менее очевидно, что Кант вполне осознавал проблематичный характер ньютоновского понятия массы. Элиминация Кантом метафизического понятия *vis inertiae* или *vis insita* подготовила путь для более положительного подхода к понятию массы.

³⁰ И. К а н т, Соч., т. 6, стр. 143.