

ВВЕДЕНИЕ

Предметом настоящего исследования является то, что обычно рассматривается в физике как коэффициент пропорциональности, или коэффициент инерции.

Для экспериментатора, занятого активными исследованиями, понятие массы кажется не вызывающим трудностей. Мыслительный аппарат экспериментатора с самого начала его обучения постоянно приспособлялся и привыкал к беспрепятственному употреблению этого понятия. Трудности, связанные с его применением, если вообще и возникали, то рассматривались во вводной части академических курсов. Даже в современной теории элементарных частиц и в современной теории поля, где понятие массы играет важную роль в связи с некоторыми трудностями, о которых и в настоящее время едва ли можно сказать, что они успешно преодолены, внимание физика привлекает не понятие массы как таковое, а его математическая трактовка или математическое представление.

С другой стороны, вообще допускается, что для элементарных курсов физики понятие массы является довольно трудным и запутанным. Ни один учебник и ни один лекционный курс, кажется, не дает логически и научно бесспорного изложения этого понятия. Действительно, масса — это одно из тех основных понятий, реальное значение которого полностью раскрывается и постигается только постепенно в процессе трактовки и плодотворного обсуждения разнообразных явлений, к которым оно относится.

Одна из причин этих трудностей заключается, конечно, в том, что масса — довольно абстрактное понятие. Иногда полагают, что масса подобно температуре тесно связана с непосредственным наблюдением или чувственным восприятием. Так, например, Рудольф Карнап при обсуждении эмпирического значения теоретических понятий говорит о «непрерывной линии от терминов, которые

непосредственно связаны с наблюдением, как, скажем, масса и температура, до более отвлеченных терминов, подобных электромагнитному полю и пси-функции»¹. Поскольку это касается массы, такая характеристика, по крайней мере с точки зрения современной физики, кажется неоправданной. В восемнадцатом столетии, в период «субстанционального понимания материи»², масса и материя практически отождествлялись. Сопrotивление материи давлению, ее твердость и непроницаемость или то, что Лейбниц называл антитипией, рассматривались обычно как чувственные и непосредственно воспринимаемые свойства массы. Современное понятие массы, однако, в противоположность понятиям температуры, света и силы, не имеет никакого чувственного образа и непосредственно не проявляет себя ни в каком мыслимом эксперименте. Оно представляет собой абстрактную конструкцию³ не в меньшей степени, чем электромагнитное поле*. Действительно, в современной теории поля (равно как и в классической электромагнитной теории материи Абрагама и Лоренца) полю в методологическом отношении отдают предпочтение в сравнении с массой, так как предпринимается попытка описать последнюю в терминах первого. Вторая трудность, связанная с понятием массы, состоит в том, что это понятие претерпевает различные превращения. «Массу можно сравнить с актером, который появляется на сцене в различных масках, но никогда в своем чистом виде. Действительно, масса — подобно богу — представляется в трех лицах. Она может появиться в роли гравитационного заряда, инерции или энергии, но никогда масса не выступает в своем неприукрашенном виде»⁴. Связанная с этим множественность форм массы является, если

¹ R u d o l f C a r n a p, The methodological character of theoretical concepts, в: «Minnesota studies in the philosophy of science», ed. H. Feigl and M. Scriven (University of Minnesota Press, Minneapolis, 1959), vol. I, p. 39.

² Это выражение взято у Германа Вейля, «Philosophy of mathematics and natural science» (Princeton University Press, Princeton, 1949), p. 165.

³ Об этом см.: H e n r y M a r g e n a u, «The nature of physical reality» (McGraw-Hill, New York, Toronto, London, 1950), p. 69.

⁴ H e r b e r t L. J a c k s o n, Presentation of the concept of mass to beginning physics students, «American Journal of Physics», 27, 278 (1959).

пользоваться другим выражением из традиционной теологии, ее вездесущностью, то есть ее универсальным проявлением во всех областях физики. Это, разумеется, вызывает другую проблему. Артур Пап в своих «Элементах аналитической философии» ссылается на эти трудности, когда говорит: «Известно, что физик, не обращая внимания на тонкости, будет, не задумываясь, определять массу как тенденцию или силу тела сопротивляться изменению состояния (ускорения), а говорить о массе электрона, конечно, неуместно»⁵.

Эти трудности, а равным образом и другие — более технического свойства — оправдывают полный историко-критический анализ этого важнейшего понятия, в особенности учитывая то, что до сих пор не было опубликовано никакого детального и связанного исследования по этому вопросу*. Хотя, естественно, имеются некоторые пункты соприкосновения с нашими предыдущими публикациями по основным понятиям пространства и времени в физике⁶, тем не менее настоящая книга является самостоятельным и независимым исследованием и не предполагает знания предшествующих публикаций.

Мы твердо убеждены, что критический анализ современного понятия массы, ведущий к полному выяснению его научного значения, может быть дан только посредством исторического подхода. Это понятие формировалось на основе понятия инертной массы, разработанного Кеплером и Ньютоном в семнадцатом столетии. Однако ввиду того что инертная масса у Кеплера внутренне связана с доклассическим понятием *количества материи* и так как последнее понятие в течение долгого времени постоянно преследовало физическую теорию, исчерпывающий анализ понятия массы на исторической основе должен, очевидно, также включать рассмотрение предшествующих и сопутствующих понятий.

Для современного мышления *количество материи* есть в лучшем случае метафизическое понятие, в проти-

⁵ Arthur Pap, Elements of analytical philosophy (Macmillan, New York, 1949), p. 137.

⁶ Max Jammer, Concepts of space (Harvard University Press, Cambridge, 1954); немецкое издание: «Das Problem des Raumes» (Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 1960); «Concepts of force» (Harvard University Press, Cambridge, 1957).

воположность чисто научному понятию массы; но раньше оно трактовалось, как предполагает само название, как мера количества материи. Ранняя история нашего понятия предполагает, таким образом, необходимость обсуждения общей проблемы о величине (*how much*) материи или субстанции, проблемы, которая занимала многих естествоиспытателей и философов.

Классическое понятие субстанции, определенное как нечто не требующее для своего существования никаких других вещей⁷, выраженное менее метафизически и более физически, предполагает рассмотрение материи как носителя изменяющихся свойств, причем этот носитель сам не подвержен никаким изменениям. Материя является, таким образом, чем-то абсолютным, подобно тому как ньютоновское пространство было абсолютным, не подверженным воздействию со стороны материальных объектов⁸. В силу того же принципа неподверженности воздействиям она является также чем-то инвариантным, неизменным и вечным. Поиски человеком сохранения и вневременности, которые выражаются в некоторых религиозных учениях, стремящихся к вечности и бессмертию, находят аналогию и идеал в абсолютности и сохранении материи. Не удивительно поэтому, что самая ранняя формулировка понятия *количества материи* возникает в связи с концептуальным анализом проблемы пресуществления в евхаристии. Кроме того, понятие *количества материи* как критерий того, сколько имеется (*how much*) материи, очевидно могло не выполнять своей функции, так как любое измерение — возможно, за исключением определения длины в классической физике — в конечном счете базируется на обмене энергией⁹ и предполагает взаимодействие. То, что в принципе не может подвергаться воздействию, не может быть измерено. А. Майер, которой мы обязаны за ее исследование об Эгидии Римском и его понятии *количества материи*, утвер-

⁷ «Разумея субстанцию, мы можем разуметь лишь вещь, которая существует так, что не нуждается для своего существования ни в чем, кроме самой себя». Р е н е Д е к а р т, Избранные произведения, М., 1950, стр. 448.

⁸ См. предисловие Альберта Эйнштейна к «Concepts of space» (сноска 6).

⁹ «Операция измерения всегда предполагает возмущение измеряемого объекта» (Луи де Бройль).

ждает, что «никогда не было достигнуто действительного разъяснения понятия *количества материи* или логического определения, ведущего к количественному операциональному определению массы»¹⁰. С нашей точки зрения, количественное определение материи, по существу, невозможно. Материя как таковая, если действительно в науке существует какая-либо необходимость в таком понятии, остается непостижимым и непонятым осадком научного анализа и как таковая неизмерима. Только свойства, принадлежащие материи, так сказать, доступны количественной оценке. Если количество материи определяется через количественный аспект одного из ее свойств, то *количество материи*, очевидно, будет зависеть от этого свойства, выбранного в качестве критерия. В классической физике, например, чисто случайно обнаружилось, что два различных свойства материи — инерция и гравитационный заряд — приводят к одной и той же количественной оценке. Если же выбрать в качестве критерия инерцию и теплоемкость, то они, конечно, дали бы различные численные результаты.

Общепринято, что масса в смысле инертной массы введена в физику Исааком Ньютоном. Как мы детально покажем, понятие инертной массы было результатом постепенного развития, которое началось с Иоганна Кеплера и завершилось Леонардом Эйлером. Хотя понятие инертной массы, несомненно, является продуктом семнадцатого столетия, его глубокие корни могут быть прослежены до неоплатонической инертности и неактивности материи в противоположность жизненности и спонтанейности разума. Древняя метафизическая противоположность материи и духа была прототипом физического противопоставления массы и силы. Несмотря на то, что ньютоновская динамика много сделала для освобождения указанных понятий от метафизического влияния, она тем не менее оставила некоторые трудности неустранимыми.

¹⁰ Anneliese Maier, Die Vorläufer Galileis im 14. Jahrhundert (Storia e Letteratura, Rome, 1941), S. 51:

«Aber trotz all dem ist es nie zu einer wirklichen begrifflichen Klärung der *quantitas materiae* gekommen, oder gar zu einer Definition, die tatsächlich eine quantitative Erfassung der Masse ermöglicht hätte».

В современных фундаментальных исследованиях, начатых — поскольку это касается понятия массы — Сен-Венаном и Эрнстом Махом, сделана попытка разрешить эти трудности и достигнуты важные результаты.

Тем временем определенные успехи в области электромагнитных и оптических явлений привели к понятию поля как элементарной категории физики, первоначально равноправной с категориями материи и энергии (массы и силы), а затем даже более глубокой и фундаментальной. Для этого упадка механического воззрения было симптоматично понятие электромагнитной массы, провозглашенное в конце девятнадцатого столетия с наибольшим энтузиазмом Максом Абрагамом, для которого инерция была лишь электромагнитным эффектом. Хотя эта точка зрения обнаружила свою несостоятельность, тем не менее такие исследования по теории поля дали замечательный стимул в развитии понятия массы и привели к далеко идущим обобщениям.

Появление специальной теории относительности положило начало радикальному видоизменению понятия массы и привело к неожиданному объединению ранее различных категорий массы и энергии. Три различных понятия массы — инертная, активная и пассивная гравитационные массы, — которые в классической физике различались в понятиях, но фактически отождествлялись, в общей теории относительности также рассматриваются как эквивалентные, хотя и на другой основе. Состояние понятия массы в квантовой механике и в физике элементарных частиц все еще до некоторой степени покрыто тайной; объяснение этого понятия является одним из главных объектов так называемых единых теорий поля. Обсуждением роли массы в современных высокоабстрактных пространственных теориях материи заканчивается настоящая монография.