

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**О ЗАКОНЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МАССЫ И ЭНЕРГИИ**

(Против идеалистических извращений в толковании закона $E = mc^2$)

А. М. Бутов и Е. Г. Швидковский

В настоящей статье делается попытка вскрыть идеалистические извращения в толковании выводов современной физики, связанных с законом взаимосвязи массы и энергии, совершенно неправильно называемым «законом эквивалентности массы и энергии», и подвергнуть критике эти извращения. Полное и общее рассмотрение этого закона требует анализа понятия физического поля и его отношения к частицам, что является важным методологическим вопросом современной физики, нуждающимся в серьёзной разработке.

Однако чтобы вскрыть идеалистические извращения в толковании закона взаимосвязи массы и энергии, оказывается достаточной более узкая постановка задачи, не включающая анализа понятия физического поля.

1. Хорошо известно, что подавляющее большинство зарубежных физиков связывает с законом $E = mc^2$ ложные, лишённые научного основания, утверждения о том, что якобы не только масса, являющаяся свойством материи, но вещество и вообще материя способны превращаться в энергию, что законы сохранения массы и энергий не имеют места в современной физике и должны быть заменены «обобщённым» законом сохранения массы + энергии; что масса представляет собой вид энергии и, наконец, что будто бы энергия есть «единственная субстанция» природы.

Нет нужды приводить соответствующие цитаты. Достаточно просмотреть относящиеся к данному вопросу работы Эйнштейна и Барнета, рекламную книгу Г. Д. Смита об атомной энергии, монографические издания, вроде книги Д. Странатана

«Частицы в современной физике», популярные книги, как например, «От атома до атомной энергии» А. Бертело, «Что такое космические лучи» П. Оже.

Переводы подобных книг, издаваемые у нас, почти совершенно не сопровождаются какими-либо критическими замечаниями по поводу вышеприведённых высказываний.

Для нас важны здесь не те небольшие различия, которые имеют место в истолковании соотношения $E = mc^2$, а то общее идеалистическое направление, которое объединяет между собой взгляды большинства буржуазных физиков.

Это общее им всем идеалистическое направление является энергетизмом и ведёт своё начало от В. Оствальда. Оствальд писал, что «... понятие энергии оказывается наиболее способным вполне разрешить проблему, заключающуюся в понятии субстанции и не разрешённую ещё понятием материи». Оствальд прямо писал, что он «пытается построить мирозерцание исключительно из энергетического материала, совершенно не пользуясь понятием материи». Всю свою книгу «Натурфилософия» Оствальд посвятил попытке «доказательства» того, что якобы естественные науки не нуждаются в понятии материи и что энергия является «основной субстанцией» природы.

Считая достаточно «обоснованным» свой главный тезис о субстанциональности энергии, Оствальд заключает: «Что все внешние явления могут быть представлены как процессы превращения энергий, находит самое простое объяснение в том, что даже сами процессы нашего сознания имеют энергетический характер и этот характер их отпечатлён на всех внешних явлениях нашего опыта».

По поводу последнего В. И. Ленин писал: «Это — чистый идеализм: не наша мысль отражает превращение энергии во внешнем мире, а внешний мир отражает «свойство» нашего сознания». (В. И. Ленин, Соч., т. 14, стр. 258.)

Таков весьма несложный путь Оствальда: «доказав», что энергия является «единственной субстанцией» природы и может существовать без материи, оторвав, иначе говоря, движение от материи, он пришёл к философскому идеализму.

На примере Оствальда мы видим, что базой философского идеализма-энергетизма явилась энергетическая физика. В. И. Ленин писал: «Энергетическая физика есть источник новых идеалистических попыток мыслить движение без материи — по случаю разложения считавшихся дотоле неразложимыми частиц материи и открытия дотоле невиданных форм материального движения». (В. И. Ленин, там же, стр. 260.)

Исходя из этого, мы должны вести непримиримую борьбу со всякого рода проявлениями энергетизма в физике, в какой бы форме он ни выступал.

Приходится признать, что отдельные наши учёные некритически восприняли высказывания зарубежных физиков и допустили в своих трудах серьёзные ошибки в толковании взаимосвязи массы и энергии. Так например, Д. Франк-Каменецкий утверждает, что «закон Эйнштейна (закон $E = mc^2$ — Б. Ш.) отнюдь не противоречит закону сохранения энергии, но мы теперь должны расширить содержание последнего. Массу мы должны рассматривать как одну из форм энергии, способную превращаться в другие виды энергии в определённом соотношении» (⁴ стр. 25) и далее: «Взаимное уничтожение позитрона и электрона — единственный известный нам процесс, при котором происходит полное превращение массы в энергию». (Гам же, стр. 62.)

В учебнике «Физическая химия» А. И. Бродский пишет: «Это один из фундаментальных законов природы, устанавливающий единство весомой материи и энергии, к которому давно стремилась наука. Масса и энергия представляют собою разные формы движения единой материи, которые могут переходить друг в друга в эквивалентных количествах» (⁵, стр. 18). Таким образом, здесь мы сталкиваемся с прямым отождествлением свойства материи — массы и физической формулировки понятия движения — энергии с самой материей. Приведённая цитата характеризует те неясности, которые существуют в среде учёных по поводу содержания таких понятий, как масса, вещество, физические виды материи, энергия.

Совершенно ошибочную статью «Эволюция учения об энергии» опубликовал Т. П. Кравец⁶. Эта статья способна только усугубить путаницу в понимании соотношения массы и энергии. Фактически получилось так, что Кравец стал на путь обоснования основного тезиса энергетиков о субстанциональности энергии, понимаемой в смысле самостоятельного существования частиц последней. В статье отсутствует даже упоминание работ Энгельса, относящихся к энергии и закону её сохранения и превращения. В выводах Кравец пишет: «Энергия предстаёт нам как некоторая субстанция, во всём подобная весоному веществу и наделённая всеми теми свойствами, которые заставляют нас считать весомое вещество субстанцией; она неразрушима и несоздаваема; она локализована в пространстве; она движется и передаётся; она обладает инертной массой, она весома; она разделена на атомы. Устанавливается точный закон эквивалентности между энергией и веществом. Можно с уверенностью утверждать, что то и другое в одинаковой мере суть то, что мы называем материей» (⁶, стр. 357).

Выводы Кравца не являются следствием фактических данных науки, а суть следствие смешения понятий материи, энергии, вещества и массы.

Взгляды современных энергетиков принципиально ничем не отличаются от взглядов Оствальда, а некоторые наши учёные

полагают, что как будто бы можно превратить энергетизм в материализм, если энергию объявить материей.

В 1941 г. вышла книга А. Максимова⁷, в которой, по словам её автора, делается попытка «материалистического обобщения представлений о материи и движении».

На странице 133 названной книги читаем: «Физики считали массу неизменной, поэтому при рассмотрении превращений энергии всё внимание сосредоточивали на смене форм движения. Отсюда и получилась формулировка закона сохранения и превращения энергии, как закона о смене форм движения». Хорошо известно, что ни один физик так вопроса не ставил; подобная диалектико-материалистическая постановка вопроса принадлежит Энгельсу.

Энгельс справедливо писал: «любая форма движения, оказывается, способна и должна превращаться в любую иную форму движения. В этой форме закон достиг своего последнего выражения. Благодаря новым открытиям мы можем найти новые доказательства его, придать ему новое, более богатое содержание. Но к самому закону, как он здесь выражен, мы не можем прибавить более ничего». (К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч. т. 14, стр. 496.)

Максимов же подчёркивает: «Нет энергии, которая не была бы эквивалентна массе, и нет массы, которая не была бы эквивалентна энергии, поэтому прежняя точка зрения на смену энергии, как на смену форм движения, должна быть оставлена» (7, стр. 134).

Развивая эти мысли, Максимов далее пишет: «Во времена Энгельса в физике ещё не стоял вопрос об изменчивости массы, о зависимости её от скорости, об эквивалентности массы и энергии и т. д. Поэтому естественно, что Энгельс опирался на то представление об энергии, которое было общепринятым в физике XIX века. Согласно этому представлению, рассматривая массу неизменной, в понятии энергии видели физическую формулировку общего понятия движения».

Современная физика, открыв изменчивость массы, вскрыла то, что и ранее заключалось в определении энергии, а именно, что понятие энергии охватывает не только понятие движения, но и материи (физически определяемой как масса, заряд и пр.). В этом смысле формулировка Энгельса уточняется в полном соответствии с общим положением о единстве материи и движения». (Там же, стр. 154.)

Изложенные выше словами самого Максимова его взгляды являются совершенно ошибочными. В данном случае вопреки учению диалектического материализма о движущейся материи, вопреки Энгельсу, видевшему в энергии физическую формулировку понятия движения, по существу Максимов предлагает считать понятие энергии более широким, чем понятие материи, объединяю-

щим в себе не только материю, но и движение. Серьёзную ошибку допускает Максимов также и в том месте, где он отождествляет материю с её свойствами: массой, зарядом и т. д.

Материя конкретизируется в бесконечном разнообразии видов, но в то же время в рамках содержания физической науки могут быть указаны по крайней мере две формы материи, объединяющие огромное разнообразие конкретных видов по признаку общности некоторых свойств. К первой из них могут быть отнесены так называемые элементарные частицы и сложные образования из элементарных частиц (атомы, молекулы, т. е. вещество), общей чертой которых является то, что они могут находиться в состоянии относительного покоя.

Ко второй относятся такие виды материи, которые, несмотря на качественные различия между ними, обладают той общностью, что им не присуще состояние относительного покоя (например, электромагнитное поле).

Поскольку то и другое являются формами движущейся материи, то возможны и превращения одной формы в другую. В физических законах, относящихся к такого рода процессам, должны найти отражение неразрушимость и несоздаваемость материи и движения.

Выделение среди разнообразных видов материи тех двух форм, о которых шла речь, конечно не должно рассматриваться, как исчерпывающая классификация. Для нас пока существенно подчеркнуть те моменты общности (и то и другое суть формы движущейся материи) и те моменты различия (по отношению к состоянию относительного покоя), которые имеют место между элементарными частицами (исключая фотоны), с одной стороны, и электромагнитным излучением, — с другой.

Неправильное понимание соотношения между этими двумя формами движущейся материи, а иногда — искажённое толкование его, является одним из главных источников энергетических извращений в современной физике. Особенно отчётливо это проявляется в том, что с фотоном часто связывают представление о частице «чистой» энергии. Поэтому необходимо кратко остановиться на природе фотона и истории раскрытия его свойств.

2. В начале XX века казалось, что волновая теория света утвердилась окончательно. Однако ещё в конце прошлого века А. Г. Столетовым было обнаружено явление фотоэффекта. Возникшие квантовые представления, которые пришлось ввести сначала для объяснения законов чёрного излучения, а затем для объяснения фотоэффекта, снова поставили перед физиками вопрос о природе света, обнаружившего наряду с волновыми и корпускулярные свойства.

Из опытов П. Н. Лебедева по измерению светового давления вытекало, что электромагнитное поле обладает массой. С развитием квантовых представлений о свете стало ясно, что масса принадлежит фотону; она равна его энергии, делённой на квадрат скорости света.

Впоследствии было показано экспериментальным путём, что при рассеянии рентгеновских лучей соударение фотона и свободного электрона происходит с соблюдением законов сохранения энергии и импульса.

Указанные опыты доказали факт существования у фотона инертной массы, конечно, не являющейся массой покоя. Но так как фотон по сравнению с другими частицами обладает качественной особенностью, — ему не присуще состояние относительного покоя, — то следует убедиться, что инертная масса является в то же время гравитационной массой, т. е. она является массой именно в том понимании, которое связывается с этим понятием в физике.

Если инертная масса фотона в то же время и гравитационная, то на фотон должны действовать поля тяготения. При этом могут наблюдаться два эффекта: первый связан с прохождением луча вблизи большой массы, второй — с возникновением фотона вблизи тяготеющего центра. Известно, что экспериментальные исследования обоих этих процессов доказали наличие у фотона гравитационных свойств. Инертная масса фотона оказалась и гравитационной массой.

Дальнейшее развитие физики углубило наши знания о фотонах. Были открыты явление образования пары электрон + позитрон и обратный процесс, чрезвычайно неудачно названный «аннигиляцией».

Таким образом наши знания о свойствах фотона расширились и углубились.

Прежде всего у фотонов была подмечена энергетическая сторона, в силу этого в среде физиков вначале сложилось представление о фотонах, как о частицах «чистой» энергии. Однако к настоящему времени раскрыты и иные свойства фотона: масса, способность претерпевать глубокие качественные изменения. Поэтому совершенно неправильно считать фотон частицей «чистой» энергии.

Образование пары показывает, что при соответствующих количественных изменениях, когда энергия фотона достигает определённого значения, в нём создаются возможности для осуществления резкого качественного скачка. Фотон превращается в две новые частицы — электрон и позитрон, получающие самостоятельное существование под влиянием третьей частицы — ядра атома.

Фотон есть один из конкретных видов материи. Превращение фотона связано с изменением формы движения материи и сопровождается превращением одного вида энергии в другой.

Уже отсюда видно, что утверждение, будто при образовании пары происходит полное превращение массы в энергию, является физически несостоятельным. Качественное отличие фотона от других частиц состоит в том, что ему не присуще состояние относительного покоя, поэтому фотон и не обладает массой покоя. Что же касается массы, которой фотон реально обладает, то по всем данным физической науки это такая же масса, как и масса других частиц.

3. Закон взаимосвязи массы и энергии заключается в том, что всякий объект материального мира, имеющий массу m , обладает запасом полной энергии, равным

$$E = mc^2. \quad (1)$$

При этом под массой подразумевается не масса покоя данного объекта, а та масса, которой он обладает в своём данном состоянии движения. Если из опытных наблюдений установлено, что данный материальный объект обладает запасом полной энергии E , то ему обязательно присуща масса, равная $\frac{E}{c^2}$.

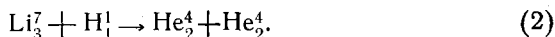
Уравнение $E = mc^2$ является естественно-научным выражением того свойства материального мира, что энергия и масса неразрывно связаны. Но ни о каком переходе массы в энергию или обратно в нём нет и речи.

Чтобы разобраться в этом вопросе подробнее, необходимо рассмотреть, соблюдаются ли законы сохранения массы и энергии во всех известных случаях, или, как утверждают зарубежные и некоторые наши физики, это не имеет места.

Никто не сомневается, что для всех макроскопических процессов выполняются оба закона. Однако сторонники представления о взаимной превратимости массы и энергии указывают, что якобы это имеет место приблизительно в пределах точности наблюдений, благодаря ничтожной малости эффектов, связанных с превращением массы в энергию. Иное дело, говорят они, в элементарных актах, сопровождающихся значительными изменениями энергии происходящей на частицу; вот там ясно обнаруживается несоблюдение законов сохранения массы и энергии и требуется их замена одним законом сохранения массы + энергии.

Разберём некоторые элементарные процессы, на которые часто ссылаются современные сторонники энергетизма в физике.

Рассмотрим реакцию



Характерной особенностью её является то, что кинетическая энергия образовавшихся частиц достигает большой величины

(порядка $8,6 \text{ Мэв}$ на частицу), энергия же бомбардирующего водородного ядра может быть относительно малой (порядка нескольких Мэв). Наряду с изменением кинетической энергии системы наблюдается изменение масс покоя частиц.

Сумма масс покоя атомных ядер, вступивших в реакцию, равна $8,0263$ атомных единиц массы, а сумма масс покоя ядер — продуктов реакции равна $8,0078$ а. е. м. В результате реакции получается так называемый дефект массы, равный $0,0185$ а. е. м.

Этот и подобные факты во многих случаях ошибочно истолковывают как превращение массы в энергию; при этом, однако, «забывается» одна существенная деталь: приведённые выше массы относятся к покоящимся частицам, каковыми практически и являются частицы, вступающие в реакцию. Между тем в результате реакции получаются ядра гелия, летящие с огромной скоростью, и эти ядра фактически будут обладать большей массой, чем учтённая выше масса покоя, в соответствии с выражением

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (3)$$

Учёт же изменения массы со скоростью по вышеприведённому уравнению приведёт, как известно, к сохранению массы частиц до и после реакции.

Здесь уместно подчеркнуть ещё одно обстоятельство. Изотоп Li_3^7 состоит из трёх протонов и четырёх нейтронов, сумма масс этих частиц равна $7,0606$ а.е.м., а масса ядра лития равна $7,0182$ а.е.м. Следовательно, при образовании ядра лития получается дефект массы, равный $0,0420$ а.е.м., а энергия связи ядра Li_3^7 определится в $39,09 \text{ Мэв}$. Это не может вызывать недоумения, потому что сумма трёх нейтронов и четырёх протонов ещё не есть ядро лития. Поэтому масса простой суммы этих частиц, вообще говоря, и не должна равняться массе ядра лития. В процессе образования ядра Li_3^7 происходит качественный скачок, при котором образуется новый вид материи по сравнению с простой суммой этих частиц.

Образование ядра Li_3^7 будет сопровождаться интенсивным электромагнитным излучением, а само ядро получит соответствующую скорость таким образом, что сумма масс движущегося ядра и излучения будет как раз равна сумме масс трёх протонов и четырёх нейтронов.

Если к данному ядру присоединится ещё один нейтрон, то получится опять новый вид материи — радиоактивный изотоп лития Li_3^8 и масса его будет иная. В каждом рассмотренном процессе мы сталкиваемся с качественно новыми видами материи. Механическое же перенесение свойств свободных частиц на их совокупность есть грубейшая метафизика.

Обратимся к энергетическому балансу рассматриваемой реакции. Обозначим внутренние энергии частиц, присущие им в состоянии покоя, через U с соответствующим индексом внизу, а кинетические энергии их механического движения — через E также с индексом. Тогда энергия до реакции будет равна $U_{\text{Li}} + U_{\text{H}} + E_{\text{H}}$. Считая для простоты кинетические энергии образовавшихся альфа-частиц одинаковыми, общую энергию системы после реакции можно представить в виде: $2 U_{\text{He}} + 2 E_{\text{He}}$. Закон сохранения энергии даёт уравнение:

$$U_{\text{Li}} + U_{\text{H}} + E_{\text{H}} = 2 U_{\text{He}} + 2 E_{\text{He}}. \quad (4)$$

Преобразуем теперь последнее уравнение, пользуясь законом взаимосвязи массы и энергии. Очевидно, получим:

$$c^2 [m_{\text{Li}}^0 + m_{\text{H}}^0 + m_{\text{H}}] = c^2 [2 m_{\text{He}}^0 + 2 m_{\text{He}}], \quad (5)$$

где через m^0 обозначены массы покоя частиц и через m — добавочные массы, обусловленные тем, что частицы обладают кинетической энергией поступательного движения. Очевидно, что полученное уравнение представляет собой закон сохранения массы.

Следовательно, поскольку для рассматриваемого процесса выполняется закон сохранения энергии, постольку для него выполняется и закон сохранения массы. Это обстоятельство оказывается возможным установить благодаря открытию закона взаимосвязи массы и энергии.

Соберём в левую часть уравнения (4) или (5) члены, относящиеся к состоянию покоя частицы, и выразим их через массы, а в правую часть — члены, относящиеся к состоянию движения частиц, и выразим их через энергию поступательного движения. Получим:

$$(m_{\text{Li}}^0 + m_{\text{H}}^0) - 2 m_{\text{He}}^0 = \frac{2 E_{\text{He}}}{c^2} - \frac{2 E_{\text{H}}}{c^2}. \quad (6)$$

Именно в такой форме принято записывать энергетический баланс ядерных реакций, а левую часть последнего уравнения называть дефектом массы.

Это уравнение, т. е. преобразованный закон сохранения энергии или сохранения массы, энергетики трактуют как превращение массы, равное её дефекту, в энергию поступательного движения частиц. Из изложенного видно, что такая трактовка является физически неправильной и в действительности уравнение (6) является следствием того, что при ядерных реакциях соблюдается как закон сохранения энергии, так и закон сохранения массы.

Уравнение (6) широко используется как удобный и точный метод определения энергетических термов возбуждённого ядра

и для вычисления энергетических эффектов ядерных реакций. Таким образом, справедливость уравнений (4) и (5) оказывается строго доказанной опытом. Следовательно, нет никаких оснований и возможности говорить о превращении массы в энергию и о необходимости замены законов сохранения массы и энергии каким-то «новым» «единым» законом сохранения массы + энергии.

Совершенно подобные рассуждения можно провести относительно процесса образования пары электрон + позитрон и обратного ему процесса, с теми же самыми выводами.

На попытке выдать за реальное явление неправильное истолкование уравнения (6) строится «новая» энергетическая физика, в которой, по примеру Оствальда, энергия объявляется «единственной субстанцией» опыта, объявляется устаревшей точка зрения Энгельса на энергию, как физическую формулировку понятия движения материи, отвергаются одновременно оба фундаментальных закона природы — сохранения энергии и сохранения массы.

Движение есть атрибут материи. Механическое перемещение не исчерпывает движения, взятого в целом, но присутствует во всех более сложных его формах. Поэтому понятия движения и покоя относительны. Когда мы говорим о массе покоя или энергии покоя, то при этом подразумевается то численное значение этих величин, которое будет получено в системе координат, связанной с таким материальным телом, относительно которого данная частица покоится. Сами же уравнения законов сохранения имеют место, независимо от того, в какой системе координат они записываются, но подставляемые в них численные значения должны быть измерены именно в данной системе координат.

Анализ разобранный выше вопроса о законах сохранения энергии и массы в релятивистски инвариантном виде требует совместного рассмотрения плотности энергии и импульса. Однако поскольку законы сохранения имеют место и в этом случае, а с другой стороны, при нашем упрощенном рассмотрении вопроса существование закона сохранения импульса также, конечно, имеет место, то полученные до сих пор выводы не могут измениться в результате общего анализа проблемы.

4. По Томсону энергия материальной системы есть измеренная в механических единицах работы величина всех внешних действий, которые совершаются над системой, когда последняя переходит любым образом из данного состояния в произвольно фиксированное нулевое состояние. Это определение выражает количественную сторону понятия энергии (с точностью до произвольной постоянной), при допущении, конечно, что либо внешние действия суть исклю-

чительно механические, либо, если они какой-либо иной природы, то существует их механический эквивалент.

Однако это определение понятия энергии не отражает качественной стороны, поскольку остаётся неясным, что именно в качественном отношении выражает собой понятие работы.

Качественную сторону понятия работы вскрыл Энгельс, указав, что работа является мерой перехода одной формы движения материи в другую форму³.

Поскольку работа, как механический эквивалент всех внешних действий, равна изменению полной энергии системы, то мерой перехода одной формы движения материи в другую является изменение полной энергии данного тела. Следовательно, изменение энергии выступает как мера превращения одной формы движения материи в другую.

Процесс развития (движения) материи может сопровождаться скачкообразным изменением её качественного состояния. Например, качественный скачок в свойствах фотона может наступить лишь при известных условиях ($E > 1,02 \text{ Мэв}$). Если превращающийся фотон имеет энергию выше $1,02 \text{ Мэв}$, то избыток энергии переходит в кинетическую энергию движения электрона и позитрона. Таким образом, значение энергии фотона, соответствующее узловой точке, является мерой превращения одной формы движения материи в другую.

Анализ понятия массы, с количественной и качественной сторон совместно, представляет большие трудности. Прежде всего нужно ещё раз подчеркнуть, что масса не является понятием тождественным ни с энергией, ни с движением, ни с материей, ни с веществом. Как указывалось выше, непонимание этого обстоятельства служит причиной целого ряда гносеологических ошибок.

Масса предстаёт нам как одно из важнейших физических свойств движущейся материи. Такое понимание массы вытекает из её общности, как свойства всех известных видов материи. Массой обладает не только вещество, но и электромагнитное поле; она есть неотъемлемое свойство любых конкретных видов материи.

Количественную сторону понятия массы можно определить через инертность. Это определение позволяет установить способ количественного измерения массы с помощью определённой системы единиц. Далее нужно идти тем путём, который оказался плодотворным при анализе понятия энергии, т. е. необходимо раскрыть содержание понятия инертности с качественной стороны.

Количественную сторону массы можно определить и через тяготение, а затем пытаться раскрыть качественное содержание понятия тяготения. Поскольку в том и другом случае мы имеем

дело с реальными свойствами материального мира, то можно предполагать, что оба пути рассмотрения должны привести к одинаковому результату в отношении раскрытия понятия массы.

Нет ничего удивительного, что масса, являющаяся отражением весьма общих черт конкретных видов материи, в определённой форме материи, находящейся в определённых условиях, может служить характеристикой и некоторых её специфических свойств. Поэтому для материи в форме вещества при малых относительных скоростях механического движения масса является и количественной мерой вещества. Замалчивание поставленного здесь вопроса об отношении массы к количественной мере вещества представляется совершенно невозможным, если не идти на сознательный разрыв в этом вопросе со всей человеческой практикой. Действительно, разве не с количественной мерой вещества мы имеем дело, когда говорим о миллионах тонн чугуна, стали, зерна, производимых нашей промышленностью и сельским хозяйством?

Из сказанного, между прочим, нельзя сделать вывода, что если при ударе шаров энергия, а следовательно и масса, одного из шаров возрастает, а другого уменьшается, то это означает, что вещество (молекулы) передаётся от одного шара к другому. Хорошо известно, что *подобный* обмен веществом при ударе шаров места не имеет. Отсюда также нельзя сделать вывода, что «дополнительной» формой материи в движущемся шаре является энергия. Недопустимость такого толкования была показана выше.

Как нам кажется, правильный, хотя и слишком общий, ответ на поставленный вопрос состоит в следующем. Как подчёркивалось выше, выделение из всего многообразия видов материи, форм материи — вещества и электромагнитного поля — не может рассматриваться как исчерпывающая классификация. Она оказывается достаточной при рассмотрении определённого круга вопросов, но никогда нельзя забывать, что процесс познания мира бесконечен и по мере развития познавательной деятельности человечества открываются и будут открываться всё новые и новые формы материи, формы её движения, новые переходы из одних форм в другие. Когда мы констатируем, что масса шара, пришедшего в движение, возросла, то это означает, что материя, конкретизируемая в форме шара, не исчерпывается нашим понятием о веществе, что в ней содержатся нераскрытые, но могущие быть раскрытыми, формы материального движения. Об их существовании мы судим по проявившемуся движению.

Возвратимся теперь к анализу понятия массы как одного из важнейших физических свойств материи. Из двух намеченных подходов к вопросу — «инерционного» и «гравитационного» мы выберём первый. Задача состоит в раскрытии качественного содержания понятия инертности.

Понятие инертности связано с механической формой движения, и в механике понимание этого свойства до сих пор определяется физическим содержанием следующей формулировки Ньютона⁸: «Врождённая сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает своё состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Эта сила всегда пропорциональна массе и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на неё». Не вдаваясь в теоретико-познавательный анализ формулировок и воззрений автора «Начал», отметим, что мысль, согласно которой способность отдельно взятого тела удерживать своё состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если и отличается от инерции, то разве только воззрением на неё — эта мысль определяет содержание понятия инерции и в современной механике и физике. Оговорка Ньютона, что «... Эта сила ... если отличается от инерции...» связана с вопросом о тождестве или различии между «количеством материи» и «инертностью», поскольку термин «масса», фигурирующий в первом определении «Начал», вписан при переводе А. Н. Крыловым и в оригинале не содержится.

Таким образом, качественное содержание понятия инертности, оказавшееся плодотворным для науки на протяжении почти трёхсот лет, характеризует неспособность материальных тел изменять своё состояние механического движения без внешнего, по отношению к данному телу, воздействия.

Нам кажется, что такое понимание качественного содержания понятия инертности является правильным, но в то же время оно недостаточно общо, поскольку относится только к механическим формам движения. В настоящее время трудно дать сколько-нибудь определённый ответ на вопрос о возможности распространить это понимание качественного содержания понятия инертности на иные, не механические формы движения. Однако один пример не лишён интереса в этом плане.

Представим себе, что вблизи тяготеющего центра возникает фотон, энергия которого немного больше $1,02\text{ Мэв}$. Такой фотон, проходя вблизи ядра какого-либо элемента, может превратиться в пару электрон + позитрон. Однако по мере удаления от тяготеющего центра фотон будет всё более и более «краснеть» и в результате его энергия сделается меньшей $1,02\text{ Мэв}$, так что он уже потеряет способность к превращению. Здесь инертность выступает в более широком смысле, чем только для механических форм движения. Свойство инертности воспрепятствует превращению фотона, т. е. воспрепятствует изменению формы движения материи.

Таким образом, инертность, в определённых рамках, выражает свойство, противоположное движению. Во всяком случае это справедливо по отношению к низшим формам движения материи.

Вопрос о дальнейшем уточнении таких понятий, как масса, вещество, физическое поле, электромагнитное излучение, фотон и ряд других основных физических понятий, представляется крайне важным. Неясность в этих понятиях оставляет лазейки для «физического идеализма». Предлагаемое авторами частичное решение, конечно, не является исчерпывающим и скорее должно рассматриваться как конкретизированная постановка вопроса.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Ленин, Сочинения, т. 14, изд. 4.
 2. К. Маркс и Ф. Энгельс, Сочинения, т. 14.
 3. Ф. Энгельс, Диалектика природы, 1946.
 4. Д. Франк-Каменецкий, Энергия в природе и технике, Госкультпросветиздат, 1948.
 5. А. И. Бродский, Физическая химия, т. 1, Госхимиздат, 1947.
 6. Т. П. Кравец, Эволюция учения об энергии, УФН, т. XXXVI, вып. 3, 1948.
 7. А. Максимов, Введение в современное учение о материи и движении, 1941.
 8. И. Ньютон, Математические начала натуральной философии. Перевод А. Н. Крылова. «Известия Николаевской морской академии», вып. 4 и 5, Петроград, 1915.
-