

**УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**

**К ВОПРОСУ О ЗАКОНЕ ВЗАИМОСВЯЗИ  
МАССЫ И ЭНЕРГИИ**

*С. Г. Суворов*

1. В проблеме о соотношении массы и энергии есть стороны для материалиста совершенно очевидные и бесспорные. Ясно, что трактовка энергии как якобы стоящей над материяй (зарубежные энергетики), или даже как тождественной материи (Т. П. Кравец), равно как и утверждение, будто бы современная физика доказала, что понятие энергии охватывает не только понятие движения, но и материи (А. А. Максимов), — это немарксистские, ненаучные утверждения.

Столь же неверны утверждения, будто соотношение  $E = mc^2$  показывает, что вещество превращается в энергию (как это встречается в ряде брошюр и даже учебников); это путаница того же порядка, ибо вещество есть один из видов материи, а энергия — мера движения материи<sup>\*</sup>).

Борьба против современного энергетизма в физике необходима. Заявления, будто энергетизм в наше время не существует и только придуман, будто энергетизм умер после признания Оствальдом существования атомов, показывают лишь, что авторы подобных заявлений не понимают, что суть энергетизма состоит не в отрицании атомов (их признают нынешние зарубежные машисты, но лишь как конструкцию наших мыслей), а в тенденции мыслить движение без материи; подобные же тенденции в разных формах продолжают существовать в капиталистических странах и поныне.

Указанные ошибки у отдельных авторов происходят по разным причинам: в одних случаях это — влияние зарубежных взглядов, в других — незнание основ марксизма, в третьих — беззаботность насчёт философии и терминологическая путаница, в некоторых же действуют сразу все причины.

<sup>\*</sup>) Автору уже приходилось высказываться по этому вопросу, см.: С. Г. Суворов «Книга М. Планка и борьба за закон сохранения и превращения энергии»; в книге М. Планка «Принцип сохранения энергии», 1938.

Но одно следует отметить: теоретически этот вопрос ясен совершенно. Его до конца разобрал В. И. Ленин ещё в 1908 г., ничего принципиально нового добавить здесь невозможно.

2. В физической литературе встречаются также утверждения о якобы имеющем место взаимопревращении массы и энергии. Но это прямое недоразумение: соотношение  $E = mc^2$  выражает связь массы и энергии одного и того же объекта для любого момента времени и, следовательно, здесь не может быть речи о превращении. Даже по своей форме соотношение  $E = mc^2$  не может быть истолковано как уравнение превращения, что странным образом многие физики не замечали.

Автору приходилось наблюдать споры между видными физиками, которые по-разному толковали взаимосвязь массы и энергии в физических процессах. Небесполезно обсудить ход этих споров, поскольку они типичны. Назовём одну сторону собирательным именем: физик Иванов, а другую — физик Петров. Иванов говорит: «Я считаю утверждения о превращении массы в энергию и наоборот неверными. В любой реакции количественно сохраняется и масса и энергия. Возьмём, к примеру, реакцию, происходящую при бомбардировке ядра лития водородным ядром; в результате её образуется два ядра гелия. При этом оказывается, что масса покоя двух ядер гелия, т. е. масса новых продуктов, меньшая массы покоя исходных продуктов, получается так называемый дефект масс, равный 0,0185 атомных единиц массы. Но если учесть, что ядра гелия получают к тому же кинетическую энергию, то к их массе покоя придётся добавить ещё массу, соответствующую кинетической энергии, на основании закона взаимосвязи энергии и массы  $\Delta m = \frac{\Delta E_k}{c^2}$ . Можно учесть эту добавочную массу ядер гелия и на основе соотношения:  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Кинетическая энергия продуктов реакции как раз соответствует дефекту масс. Следовательно, сумма масс до и после реакции остаётся неизменной и, значит, никаких превращений массы в энергию не происходит».

Заметим, что Иванов пытается не вникать в сущность физического процесса; он исходит из наличия известных соотношений. Но удержаться в этой позиции он не может, его сбивает с неё физик Петров. Петров говорит: «Вы хотите уйти от ответа на вопрос — почему изменяется масса, но фактически вы всегда отвечаете на него так: потому, что изменяется энергия; вот и сейчас вы говорите о добавочной „массе“, соответствующей кинетической энергии». И это не случайно: другой терминологии в физике не существует. Вот я не веду политики страуса и говорю прямо: изменение массы причинно обусловлено изменением энергии!

и наоборот. Можно привести очень наглядный пример такой причинной обусловленности. Пусть в сосуде, наполненном газом и адиабатически замкнутом, осуществляется процесс превращения пары позитрон-электрон в фотоны. Пусть в заданных условиях энергия полученных фотонов полностью превращается в тепловую энергию газа. Тогда результат реакции будет следующим: исходными были сумма масс покоя отдельных молекул газа и пары электрон-позитрон, а конечными — только сумма масс покоя молекул газа, т. е. меньшая сумма масс покоя, чем исходная. Итак, был газ и пара электрон-позитрон, получился только газ, однако в новом энергетическом состоянии (при большей температуре). Не произошло ли здесь превращения части массы покоя (а именно, массы пары электрон-позитрон) в конечном счёте в тепловую энергию? Можно, конечно, сказать, что увеличение тепловой энергии газа связано с увеличением его массы, соответственно соотношению  $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$ .

Но откуда взялась эта добавочная масса  $\Delta m$  у газа? Почему возрастаёт масса нагретого газа? Не потому ли, что возрастаёт его тепловая энергия? Ведь нет никаких указаний на другой источник!»

Тогда в спор включается физик Егоров. Он говорит: «Вы, повидимому, думаете, что убедительность примера увеличивается от того, что он включает в себя сложную цепь превращений, в начале которой стоят газ и пара электрон-позитрон, а в конце только газ, но в новом энергетическом состоянии. Уверяю вас, что те же проблемы возникают и в более „простом“ примере — соударении упругих шаров. Пусть в результате соударения кинетическая энергия одного из шаров возросла на  $\Delta E_k$ . В соответствии с законом взаимосвязи массы и энергии мы можем сказать, что возросла и его масса на величину  $\Delta m$ . Я хотел бы послушать, как вы объясняете, откуда взялось это увеличение массы тела?»

Иванов: «Я вижу, что меня хотят обязательно подвести к ответу, что масса тела при соударении увеличивается благодаря тому, что тело при ударе приобрело энергию. Но я не хочу переходить на позицию Петрова и попытаюсь объяснить возрастание массы иначе. Дело в том, что закон сохранения массы и закон сохранения энергии оба выполняются в любом процессе. Они хотя и связаны неразрывно друг с другом, но всё же это два раздельных закона, так как обоснования их справедливости независимы друг от друга. В силу этого при соударении должны осуществляться два независимых процесса: передача от тела к телу энергии и передача массы. Процесс передачи энергии очевиден. Но как совершается процесс передачи массы? „Приписать массу энергии“, которая передаётся, я не согласен. Должен быть какой-то процесс передачи материи при ударе. Так как от тела к телу при ударе вещество не переходит, то придётся

предположить, что переходит какая-то ещё не познанная нами форма материи».

Петров: «Я с этим не согласен. Процесса передачи материи при соударении физика не знает, соударение — это процесс, связанный только с передачей энергии. Ссылка на передачу массы посредством передачи непознанного вида материи, придуманной *ad hoc*, слишком шаткое основание, чтобы строить на нём физические выводы. На вопрос о том, почему возросла масса тела, подвергнувшегося удару, мы можем дать только один ответ: потому что возросла его кинетическая энергия».

Таковы споры, которые неоднократно привелось наблюдать автору между видными физиками.

Как видим, «физик Петров» в соударении (или в каком-либо ином физическом процессе, скажем, в нагревании газа) видит процесс только энергетический и изменение массы ставит в причинную связь именно с изменением энергии. Иногда он признаётся, что склонен считать, что масса и энергия взаимно превращаются друг в друга. Однако некоторые «Петровы» протестуют против зачисления их в число защитников концепции превращения. Но это — результат неологичности: тот, кто рассматривает физические процессы только как процессы энергетические, кто в силу этого ставит изменение масс в причинную связь с изменением энергии, тот тем самым неминуемо защищает позицию взаимопревращения массы и энергии.

Что касается «физика Иванова», то он, как видим, возражает против концепции взаимопревращения массы и энергии. Он не согласен рассматривать изменение энергии как причину изменения массы, ибо чувствует, что это означало бы защиту позиции, против которой он возражает. Это заставляет его искать независимую от энергетических процессов причину изменения массы, и эту причину он ищет с помощью гипотезы, согласно которой во всех случаях когда передаётся энергия, одновременно передаётся, в скрытой пока форме, и материя.

3. Поучительность этих споров состоит в том, что в них ясно обнаруживается, сколь мало убедительны доводы, пока обе спорящие стороны находятся на старом уровне понимания того, какова природа механического движения и физического движения вообще.

Среди физиков и философов всё ещё бытует понимание механического движения только как простой перемены места.

Но именно подобное представление механического движения, как мыслимого вне связи со сложными физическими процессами, не позволяет указать никакого другого объяснения изменения массы, скажем при соударении, кроме как изменения кинетической энергии тела! Таким образом, упрощённое понимание механического движения (равно как и других физических форм движения) приводит

к тому, что именно энергия рассматривается как прямая причина изменения массы тела при изменении его скорости, как субстанция, обладающая массой.

Однако данные современной физики, если понимать их правильно, заставляют нас изменить представление о механическом движении. Это требование выдвигается теперь со всех сторон. Остаявшись при старых представлениях, мы не можем правильно понять ни теории быстрых движений, ни квантовой механики, ни обсуждаемой проблемы о соотношении массы и энергии.

Современная физика показала, что свойства движущегося тела в общем случае зависят от отношения скорости тела  $v$  к скорости света  $c$ . В частности, масса движущегося тела равна:  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ . Это изменение свойств тела в зависимости от отношения  $\frac{v}{c}$  как раз и показывает, что механическое движение уже нельзя рассматривать как простой перенос тела, как простое изменение его места по отношению к другому, произвольно выбранному телу.

Движение есть процесс, совершающийся в физической системе, часть которой составляет движущееся тело. Движение есть изменение связей тела со всеми другими частями системы, связей, осуществляемых через поле\*).

Именно изменение связей тела с другими частями системы и приводит к зависимости свойств тела, в частности его массы, от скорости. Зависимость массы от скорости движения тела показывает, что масса тела должна определяться всей совокупностью его связей с другими телами (его полем), равно как и внутренними связями тела. Природа массы не исчерпывается теми определениями, которые опираются на старое понимание механики.

Что же касается энергии, то она представляет собой меру движения тела; нет никаких физических оснований отказываться от весьма широкой и справедливой позиции Энгельса и считать энергию понятием, охватывающим и материю (!!), и массу, и заряд, и действие, и частоту, и вообще все параметры, с которыми она может быть связанной\*\*).

Указанные взгляды на движение должны лежать в основе критики также эйнштейновской концепции теории быстрых движений

\* ) В свете этого понимания, как указал Р. Я. Штейнман, инерционное движение есть такое движение, в котором связи в каждый момент нарушаются и воссоздаются так, что эти процессы компенсируют друг друга.

\*\*) А. Максимов, Введение в современное учение о материи и движении, 1941, стр. 154 и др.

(теории относительности), если не желать превратить эту критику в пустую фразу. Они же проливают свет и на вопрос о соотношении массы и энергии.

Как рассматривать в этом свете результат соударения тел? Что означает утверждение, что в результате соударения данное тело получило не только прирост кинетической энергии, но и прирост массы?

Это означает, что процесс соударения не может рассматриваться только как процесс обмена энергией. Это есть процесс, в результате которого происходит изменение связей соударяющихся тел с полем, а вследствие этого — изменение их массы.

Возрастание кинетической энергии тела и возрастание его массы — это не два процесса, находящиеся в причинной связи друг с другом: это две стороны одного и того же процесса, в котором существенно также и изменение связи тела с полем. При этом изменение связи тела с полем всегда происходит в меру изменения энергии тела. Последнее и есть закон взаимосвязи массы и энергии. Таким образом, действительно никакого превращения массы в энергию и наоборот не происходит. Равным образом при ударе не происходит никакой передачи от тела к телу вещества или материи в какой-либо другой, еще не познанной форме, но происходит изменение связи тела с полем.

Вот почему принципиально неправы те физики, которые считают будто положение о том, что в любом процессе и, в частности, при соударении тел масса не превращается в энергию, можно доказать не прибегая к понятию поля. Этого нельзя сделать по той причине, что нельзя при этом обойти вопрос о природе массы, а вопрос о природе массы неизбежно подводит к вопросу о роли поля, о связи частей материальной системы через поле.

В том же свете можно рассматривать и пример с увеличением массы тела при его нагревании. Справедливость соотношения  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$  в тепловых процессах указывает на то, что они также не протекают вне взаимодействия с полем и что наше обычное представление о теплоте довольно односторонне. Энгельс был глубоко прав, указывая, что тепловые процессы не сводятся к простому перемещению молекул.

Поскольку соотношение  $\Delta E = \Delta m \cdot c^2$  справедливо для всех видов энергии, было бы справедливым сделать вывод о том, что для любых физических процессов, происходящих в веществе, нельзя игнорировать их связь с полем, что игнорирование этой связи не приводит к прямым ошибкам лишь в известных пределах, для квазистатических случаев. Таким образом, природа физических форм движения оказывается сложнее, чем её обычно до сих пор представляют.

Вот куда, как мне кажется, ведёт эта проблема связи массы и энергии. Обсуждение этой проблемы в указанной плоскости

было бы, мне кажется, творческим развитием обсуждаемого вопроса.

Правильно понять соотношение массы и энергии можно лишь на основе анализа того, как изменилось в физике представление о строении материи, о движении, о том, какую роль в физических процессах играет поле.

4. Некоторые физики считают, что масса по своей природе делится на два типа — пассивную и активную. Доводом для такого заключения служат, примерно, следующие рассуждения, варианты которых в разных случаях. Так называемые элементарные частицы вещества, например электрон и позитрон, обладают массой покоя, фотон же обладает только «массой движения». Масса покоя электрона и позитрона при обычных условиях ни во что не превращается, она пассивна; лишь при определенных условиях она может превратиться в массу двух движущихся фотонов, при этом сразу целиком, а не частями. Масса же фотонов активна, она непрерывно рассеивается сколь угодно малыми порциями, и в конце концов, растратывается на возбуждение окружающих атомов, в частности на повышение температуры среды; в результате масса фотонов распределяется среди атомов, увеличивая массу каждого из них. Таким образом, утверждают эти физики, налицо два типа поведения масс, две массы — пассивная и активная.

Однако подобная классификация массы и наименование её типов не раскрывают сущности физического процесса и могут привести к лутанице. На самом деле различие двух указанных процессов состоит в том, что в первом случае мы имеем превращение одного вида материи — «элементарных» частиц вещества — в другой вид — поле. Нет ничего удивительного в том, что это превращение происходит только при определенных условиях; это тривиальное утверждение: превращения любых видов материи, — превращения и образования пар электрон-позитрон, распад ядер, излучения атомов, химические превращения и т. п., — происходят при некоторых вполне определенных условиях. Если бы это было не так, в природе не было бы устойчивых систем. В силу сказанного, процесс так называемой аннигиляции пары электрон-позитрон правильно истолковать так: в этом процессе не пассивная масса превращается в активную, а один вид материи — вещество — превращается в другой вид — поле.

Способность определенных видов материи превращаться при определенных условиях в другие виды никак не может быть охарактеризована как пассивность материи. Причем тут пассивность, если превращения необходимо осуществляются как только возникают соответствующие условия?

Во втором рассмотренном случае никакого превращения видов материи нет. Поскольку в замкнутой системе в результате аннигиляции пары образуются два фотона, поскольку изменяется

характеристика поля в этой системе, изменяется связь атомов с полем, тем самым изменяется их масса. В данном процессе, в данных условиях такой процесс изменения массы столь же необходимо, сколь необходимо при определённых условиях превращение частиц вещества в частицы поля. Таким образом, ни о каком особом свойстве «активности» массы этого типа, в противовес свойству «пассивности» массы покоя, — говорить нет оснований\*).

Несомненно, что масса покоя и масса, которой частица обладает вследствие движения, различны. Но их отличие следует формулировать путём физической характеристики. В чём эта характеристика может состоять? Очевидно в анализе природы, происхождения и той роли, которую данная масса играет в связях, в движении объекта. Масса покоя, повидимому, характеризует не только связи частиц с другими компонентами системы в том случае, когда первые неподвижны относительно вторых, но в какой-то мере и внутренние связи частиц. Природа массы очень сложна. Можно ожидать, что на эту проблему будет пролит свет, когда физика установит условия и исследует процессы всевозможных превращений элементарных частиц друг в друга и в различные виды полей, создаст теорию превращений, к которой она пока ещё не видит ясных путей. Во всяком случае в основу различия масс  $m_0$  и  $\Delta m$  должны лечь, как мне кажется, именно физические соображения, связанные с выяснением природы массы.

Антropоморфные же характеристики (пассивная — активная массы) явлений природы вносят путаницу гносеологического характера, так как они направляют внимание не на исследование природы данного явления, условий его осуществления, а подменяют это исследование тем, что вещам приписываются метафизические изначальные свойства. И эта подмена происходит независимо от желания авторов антропоморфных характеристик. Поэтому от них следует отказаться.

---

\* ) Следует заметить также, что масса покоя «элементарных» частиц может превращаться в массу фотонов и не полностью, а частично. Так происходит в некоторых случаях соединения нуклеонов в атомные ядра (так называемый «дефект масс»). То же самое имеет место при превращениях мезонов. «Пассивность» массы покоя оказывается совершенно не абсолютным свойством. Что касается аннигиляции нуклеонов, т. е. полного превращения масс нуклеонов в массы фотонов, то нет оснований считать, что этот процесс не осуществляется при более высоких энергиях взаимодействия.