

УДК 372.853

## К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАССЫ ЧЕРЕЗ УРАВНЕНИЕ МАССОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ

**В. А. Плетюхов, А. И. Серый**

*г. Брест, УО «Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина»*

В литературе уже не одно десятилетие [1, с. 151–152, 338–342; 2; 3, с. 22–24] ведутся споры о подходах к изложению специальной теории относительности (СТО), причем «краеугольным камнем» в каждом случае является, как правило, вопрос о трактовке такой важнейшей физической величины, как масса. В частности, существуют подходы, в которых предлагается использовать только скалярную инвариантную массу  $m_0$ . Но даже в этом случае ее трактовка (и, соответственно, методика изложения основ СТО) может варьироваться.

В одном из таких подходов, который предлагают специалисты в области физики элементарных частиц (ФЭЧ), масса определяется через уравнение массовой поверхности (УМП)

$$E^2 - \vec{p}^2 c^2 = m_0^2 c^4, \quad (1)$$

где величины  $E$  и  $\vec{p}$  должны быть каким-либо образом измерены; они представляют собой суммарную полную энергию и суммарный импульс частиц, участвующих в реакции с рождением данной частицы с массой  $m_0$ . В любых иных подходах к изложению СТО это уравнение не берется в качестве определяющего для массы, но выводится из других соотношений, принятых за исходные.

В качестве обоснования указанного подхода (вплоть до обязательного внедрения его в средние и высшие учебные заведения) обычно выдвигаются следующие аргументы. 1. В ФЭЧ (по сравнению с физикой других объектов) в наибольшей степени проявляется экспериментальное подтверждение СТО и в наибольшей степени востребован математический аппарат СТО (прежде всего – уравнения релятивистской динамики). 2. На УМП, как правило, основан единственный способ определения массы нестабильных элементарных частиц (а они в подавляющем большинстве нестабильны).

Не подвергая сомнению смысловое содержание самих аргументов, можно подвергнуть сомнению само утверждение о том, что они в совокупности являются достаточным основанием для использования УМП в качестве определения массы в СТО. Соответствующие контраргументы приведены ниже. Их также можно частично обобщить в виде таблицы 1 (для тех, кто предпочитает такую форму структуризации материала).

1. Вопрос о массе имеет отношение не только к формулам релятивистской динамики (следствием которых является УМП при традиционном подходе к изложению СТО), но и к такому явлению, как дефект массы; т. е. предмет исследования СТО не ограничивается эффектами, происходящими при релятивистских скоростях.

2. Дефект массы как релятивистский эффект наиболее характерен для атомных ядер (хотя точность современных измерений позволяет обнаружить его и на уровне химических реакций), движение которых вовсе не обязательно должно описываться релятивистскими уравнениями; таким образом, элементарные частицы – это не единственные представители микромира, на которых отчетливо проявляются релятивистские эффекты; кроме того, на макроскопическом уровне это учитывается как в ядерной энергетике, так и в теории эволюции звезд.

3. Даже среди самих элементарных частиц есть стабильные (прежде всего, протон и электрон), масса которых определяется совсем иным способом (например, масс-спектрометрическим с последующим независимым определением заряда), поскольку это гораздо удобнее; аналогичные способы пригодны и для атомных ядер; таким образом, массу многих объектов (пусть и не относящихся к короткоживущим), по отношению к которым проявляются эффекты СТО, удобнее определять без использования УМП.

4. Величины, входящие в левую часть УМП (1), не могут напрямую относиться к той же самой частице, масса  $m_0$  которой определяется, т. к. неизвестен способ прямого измерения  $E$  и  $\vec{p}$  для частицы с неизвестной массой; эти величины могут относиться только к другим частицам, участвующим в реакции с образованием данной частицы; но тогда если их массы, в свою очередь, тоже определяются из УМП, то в каком-то звене такой последовательности определения масс должны оказаться частицы (или другие микрообъекты), массы которых определяются иным способом; если бы пришлось определять через УМП массу макроскопического тела, то по аналогичной причине пришлось бы учитывать его взаимодействие с другими телами для определения  $E$  и  $\vec{p}$  с аналогичными дальнейшими рассуждениями; в противном случае пришлось бы определять  $E$  и  $\vec{p}$  через массу того же самого тела, что привело бы к тавтологии; таким образом, метод определения масс через УМП (1), будучи удобным инструментом в ФЭЧ, не является самодостаточным.

5. В последние десятилетия были достигнуты успехи в области экспериментальной проверки эффектов СТО, связанных с движением (т. е. не относящихся к дефекту массы), для макроскопических объектов (причем не за счет достижения релятивистских скоростей, а за счет повышения точности измерений при скоростях, достижимых в земных условиях). При этом масса таких объектов определяется методами, совершенно отличными от методов, применяемых в микромире.

Сказанное выше позволяет утверждать, что определение массы через УМП не имеет права на абсолютизацию в рамках всей СТО, но может считаться, по крайней мере, удобным и широко применяемым «рабочим инструментом» в ФЭЧ. Здесь важно подчеркнуть, что для фундаментальной физики ценность того или иного определения заключается, прежде всего, в глубине физического смысла, отражаемого в формулировке определения, а не в практическом удобстве (которое может носить даже не фундаментальный, а, скорее, прикладной, инженерно-технический характер).

Таблица 1 – Эффекты СТО, связанные с массой, применительно к различным объектам

Объекты	Долгоживущие или стабильные атомные ядра и элементарные частицы	Короткоживущие элементарные частицы	Макроскопические тела
1.1. Эффекты, связанные с дефектом массы	дефект массы наблюдается у всех атомных ядер	сомнительна корректность самой постановки вопроса	применение в ядерных реакторах и в теории эволюции звезд
1.2. Необходимость применения уравнений релятивистской динамики	для элементарных частиц – практически всегда; для атомных ядер – только в релятивистской ядерной физике	да, всегда	реально – нет (только в задачниках по СТО, причем соответствующие задачи пока что похожи, скорее, на научную фантастику)
2.1. Основные способы нахождения массы	масс-спектрометрия и отдельное измерение заряда	через УМП (1)	с помощью весов, закона всемирного тяготения и др.
2.2. Является ли способ нахождения массы через УМП (1) допустимым	нельзя сказать, что не является, но его применение было бы неудобным	очень часто он является единственно возможным	нет, это было бы слишком грубо и непрактично (если вообще возможно)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угаров, В. А. Специальная теория относительности / В. А. Угаров. – М. : Наука, 1977. – 384 с.
2. Окунь, Л. Б. «Релятивистская кружка» [Электронный ресурс] / Л. Б. Окунь. – Режим доступа: arXiv:1010.5400 [physics.pop-ph]. – Дата доступа: 26.02.2010.
3. Плетюхов, В. А. О формировании понятия массы в релятивистской динамике / В. А. Плетюхов // Физика. – 2018. – № 1. – С. 22–24.

УДК 372.853

## О СОХРАНЕНИИ СВОЙСТВ КЛАССИЧЕСКОЙ МАССЫ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

**В. А. Плетюхов, А. И. Серый**

*г. Брест, УО «Брестский государственный университет им. А. С. Пушкина»*

При изучении основ специальной теории относительности (СТО) студенты могут столкнуться с трудностями методического характера, связанными с различными подходами к трактовке массы. Соответствующие споры в литературе ведутся уже не одно десятилетие [1, с. 51, 52; 2, с. 151–152, 338–342], причем важным является вопрос о преемственности курса СТО по отношению к нерелятивистской механике. Это, в свою очередь, связано с вопросом о том, какие свойства классической массы следует сохранить в релятивистской физике.

Представляется целесообразным проанализировать данные вопросы в виде сравнительных таблиц, представленных ниже. Будем сравнивать следующие типы масс. I. Скалярную инвариантную  $m_0$ . II. Скалярную  $M$ , зависящую от скорости. III. Тензорную  $\mu$ , зависящую от скорости. В случае вещества эти массы связаны друг с другом следующими соотношениями: