

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 μ , зависящую от скорости. В случае вещества эти массы связаны друг с другом следующими соотношениями:

$$M = m_0 / \sqrt{1 - \beta^2}, \mu_{ij} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(\delta_{ij} + \frac{\beta_i \beta_j}{1 - \beta^2} \right) = M \left(\delta_{ij} + \frac{\beta_i \beta_j}{1 - \beta^2} \right). \quad (1)$$

Таблица 1 – Основные свойства разных типов масс в релятивистском случае

Тип массы	I	II	III
1. Связь между силой \vec{F} и ускорением \vec{a} без привлечения других величин (мера инертности)	нет	да, но только при $\vec{a} \perp \vec{v}$ ($\vec{F} = M\vec{a}$)	да, всегда ($F_i = \mu_{ij} a_j$)
2. Связь между импульсом \vec{p} и скоростью \vec{v} без привлечения других множителей	нет	да, всегда ($\vec{p} = M\vec{v}$)	нет
3. Инвариантность	да, всегда	Нет	нет
4. Пропорциональность полной энергии E (без привлечения других величин)	нет	да, всегда	нет
5. Аддитивность в случае системы невзаимодействующих частиц вещества	нет	да, всегда	нет
6. Возможность охарактеризовать отдельно взятый фотон	да (всегда равна нулю)	да, всегда	нет
7. Аддитивность в случае системы фотонов	вообще говоря, нет	да, всегда	нет

Таблица 2 – Достоинства разных типов масс

1.1. Тип массы	I	II	III
1.2. Свойства в таблице 1, которые сохраняются	3 (всегда), 6 (только для отдельного фотона)	1 (в некоторых случаях), 2, 4 – 7 (всегда)	1 (всегда)
2.1. Преемственность по отношению к нерелятивистской физике может проявляться, например	при решении задач с использованием массы покоя электрона в нерелятивистском и релятивистском случаях	в сходстве записи (в обоих случаях): а) 2-го закона Ньютона через производную импульса по времени; б) 2-го закона Ньютона в «школьной» форме при $\vec{a} \perp \vec{v}$; в) закона сохранения массы	в сходстве записи (в обоих случаях): 2-го закона Ньютона в «школьной» форме (с учетом предельного перехода при малых скоростях)
2.2. При этом физический смысл	а) справочная константа, отражающая внутреннее свойство элементарных частиц (но не макроскопических тел); б) коэффициент, обеспечивающий предельный переход формул релятивистской механики в нерелятивистские	а) мера полной энергии; б) мера инертности (при $\vec{a} \perp \vec{v}$); в) связующий множитель между скоростью и импульсом (который, правда, уже нельзя назвать коэффициентом пропорциональности)	мера инертности
2.3. Наличие формулировок, не связанных с классической механикой	коэффициент в уравнении массовой поверхности	частное от деления полной энергии на квадрат скорости света (для частиц с нулевой массой покоя)	нет
3. Целесообразно ли использование в курсе СТО	да (заменить чем-либо другим не представляется возможным)	вопрос остается открытым (см. далее)	возможно, но только на вузовском уровне (в силу математической сложности)

Таким образом, необходимо отметить следующее. Несмотря на то, что именно масса типа II сохраняет наибольшее количество свойств, присущих классической скалярной нерелятивистской массе, целесообразность ее использования находится, по-видимому, под самым большим вопросом, который более подробно проанализирован ниже.

Аргументы в пользу применения этой массы могут быть следующими.

1. При использовании массы M формула для импульса выглядит так же, как в нерелятивистском случае (с сохранением роли массы M как связующего множителя между скоростью и импульсом), что обеспечивает преемственность по отношению к классической механике. 2. В случае $\vec{a} \perp \vec{v}$ сохраняется форма записи 2-го закона Ньютона в виде $\vec{F} = M\vec{a}$ по аналогии с классической $\vec{F} = m_0\vec{a}$. 3. Масса M пропорциональна полной энергии E (без привлечения других величин), может охарактеризовать излучение, а также обладает свойством аддитивности в случае системы фотонов или невзаимодействующих частиц вещества.

Далее приведем в том же порядке соответствующие контраргументы.

1. Формула $\vec{p} = m_0\vec{v}$ в классической механике является определяющей, а не выражением какого-либо закона, поэтому в релятивистском случае может быть переписана не только как $\vec{p} = M\vec{v}$, но и как $\vec{p} = \gamma m_0\vec{v}$; это позволяет утверждать, что предельный переход к формулам классической механики обусловлен не тем, что $M \rightarrow m_0$, а тем, что $\gamma \rightarrow 1$; утверждением о роли связующего множителя между скоростью и импульсом можно пожертвовать, указав на то, что этот связующий множитель перестает играть роль коэффициента пропорциональности (это свойство проявляется лишь в нерелятивистском пределе); таким образом, преемственность сохраняется, но формулируется по-другому.

2. В релятивистском случае соотношение $\vec{F} = M\vec{a}$ не столь универсально, как в классическом, поэтому этой закономерностью можно пожертвовать.

3. Закон сохранения массы (справедливый в классической механике) был сформулирован в химии [3, с. 390], когда его еще нельзя было назвать следствием закона сохранения энергии, поскольку релятивистские эффекты на уровне химических реакций еще нельзя было обнаружить в силу их малости, не выходящей за рамки точности измерений тех времен; позднее выяснилось, что закон сохранения массы для вещества – это предел закона сохранения энергии при малости кинетической и потенциальной энергий по сравнению с энергией покоя; поэтому свойство аддитивности массы M не дает ничего нового по сравнению с законом сохранения энергии, в том числе для излучения, где эти законы оказываются тождественными в случае массы M (в силу соотношения $E = Mc^2$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Большая рос. энциклопедия, 1992. – Т. 3 : Магнитноплазменный – Пойнтинга теорема. – 672 с.
2. Угаров, В. А. Специальная теория относительности / В. А. Угаров. – М. : Наука, 1977. – 384 с.
3. Химическая энциклопедия / гл. ред. Н. С. Зефирова ; редкол.: Ю. А. Золотов [и др.]. – М. : Большая рос. энциклопедия, 1995. – Т. 4 : Полимерные – Трипсин. – 639 с.