

УДК 372.853

В. А. ПЛЕТЮХОВ, А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ

О РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕПЦИЯХ МАССЫ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В методике преподавания специальной теории относительности (СТО) важное место занимает вопрос о зависимости массы от скорости. В связи с этим рассмотрим следующие концепции массы, которые могут встречаться в учебной и научной литературе по СТО.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика концепций массы в СТО

Концепция	Время существования	Какие виды масс присутствуют
1. Двух масс (старая)	Доминировала в первые десятилетия после создания СТО.	Скалярная инвариантная m (т.е. не зависящая от скорости v) и скалярная M , зависящая от скорости.
2. Одной массы	В последние десятилетия вытесняет предыдущую концепцию.	Скалярная инвариантная m .
3. Двух масс (новая)	Предлагается в настоящей работе.	Скалярная инвариантная m и тензорная m_{ij} , зависящая от скорости.

Ниже в таблице 2 дадим сравнительную характеристику трех видов масс, упомянутых в таблице 1.

Таблица 2 – Сравнительная характеристика трех видов масс

Масса	m	M	m_{ij}
1. Связующий множитель между скоростью и импульсом	Да, причем это коэффициент пропорциональности.	Да, хотя это не коэффициент пропорциональности.	Нет.
2. Связующий множитель между силой и ускорением	Да, причем это коэффициент пропорциональности.	Нет.	Да, хотя это не коэффициент пропорциональности.
3. Равна полной энергии с точностью до квадрата скорости света	Нет, кроме состояния покоя.	Да, при любой скорости.	Нет.

Таким образом, на первый взгляд, у каждой разновидности массы есть свои достоинства и недостатки. По всей видимости, в современном научном сообществе растет количество сторонников той точки зрения, что достоинствами, присущими массе M , можно пожертвовать, так как они не имеют особой ценности по сравнению с достоинствами других масс [1, с. 52, 501]. В качестве примеров можно рассмотреть интерпретацию формул для импульса и полной энергии в рамках концепций двух масс (старой) и одной массы (таблица 3).

Таблица 3 – Формулы для импульса и полной энергии в рамках разных концепций массы

Концепция	двух масс (старая)	одной массы
1.1. Формула для импульса	$\vec{p} = M\vec{v}$, $M = \gamma m$, $\gamma = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2}$.	$\vec{p} = \gamma m\vec{v}$.
1.2. Сходство с классической нерелятивистской формулой $\vec{p} = m\vec{v}$	Да, с заменой m на M .	Нет (это преимущество, если его можно считать таковым, принесено в жертву).
1.3. Переход к классической формуле $\vec{p} = m\vec{v}$ при $v \rightarrow 0$ объясняется тем, что	$M \rightarrow m$.	$\gamma \rightarrow 1$.
1.4. Трактровка релятивистского эффекта	Зависимость массы от скорости, приводящая к нелинейной зависимости импульса от скорости.	Нелинейная зависимость импульса от скорости.
2.1. Формула для полной энергии	$E = Mc^2$.	$E = \gamma mc^2$.
2.2. Сходство с формулой в состоянии покоя $E = mc^2$	Да, с заменой m на M .	Нет (это преимущество, если его можно считать таковым, принесено в жертву).
2.3. Переход к предельной формуле $E = mc^2$ при $v \rightarrow 0$ объясняется тем, что	$M \rightarrow m$ (т.е. объяснение такое же, как и для импульса).	$\gamma \rightarrow 1$ (т.е. объяснение такое же, как и для импульса).
2.4. Трактровка релятивистского эффекта	Зависимость массы от скорости, приводящая к неквадратичной зависимости полной (и кинетической) энергии от скорости.	Неквадратичная зависимость полной (и кинетической) энергии от скорости.

Поскольку основные экспериментальные подтверждения формул релятивистской механики относятся к физике элементарных частиц, именно этот бурно развивающийся раздел физики стал «законодателем моды»

на трактовку массы в СТО во второй половине XX в. Первоначально известные элементарные частицы (прежде всего электрон и протон), как стабильные, можно было довольно долго разгонять в ускорителях и проверять эффект, который в литературе по СТО тех лет традиционно назывался зависимостью массы от скорости. Еще одной экспериментально проверяемой формулой, которая, как и формулы для импульса и полной энергии (таблица 3), может быть интерпретирована по-разному, является формула для периода T обращения частицы с зарядом q в циклическом ускорителе в магнитном поле с индукцией B :

$$T = 2\pi m / (|q|B). \quad (1)$$

С открытием же многочисленных короткоживущих частиц ситуация изменилась. Во-первых, аналогичные эксперименты с короткоживущими частицами в ускорителях весьма затруднены (если вообще возможны); во-вторых, для таких элементарных частиц стало широко использоваться понятие массовой поверхности, для которой масса M не имеет никакого практически полезного значения (она даже не является мерой инертности, хотя и само это понятие для короткоживущих частиц теряет актуальность); в-третьих, как уже было упомянуто в таблице 3, результаты экспериментов с ускорением стабильных заряженных частиц могут быть интерпретированы не только с использованием зависимости массы от скорости.

Таблица 4 – Аналогия между формулами релятивистской кинематики и динамики

Раздел СТО	Динамика	Кинематика
Инвариант	$m = \sqrt{-p_\mu^2} / c = \sqrt{E^2 - p^2 c^2} / c$	$\sqrt{S^2} = \sqrt{-\Delta x_\mu^2} = \sqrt{c^2(\Delta t)^2 - l^2}$
При этом	p_μ – компоненты четырехмерного импульса.	S – четырехмерный интервал, Δx_μ – его компоненты, Δt – промежуток времени, l – расстояние.
Значение больше нуля	для реальных массивных частиц – всегда	если интервал времениподобный (тогда он равен $c\Delta t_0$, где $\Delta t_0 \equiv \Delta\tau$ – собственное время)
Подстановка	$E = Mc^2, p = Mv$	$l = v\Delta t$
Приводит к	соотношению $M = \gamma m$	соотношению $\Delta t = \gamma \Delta\tau$

Вместе с тем если посмотреть на концепцию одной массы с академических позиций (а не с позиций практического удобства) и выйти за рамки релятивистской динамики, то можно провести параллели между известными соотношениями релятивистской кинематики и динамики, и тогда ока-

жется, что из отказа от массы M должен логически следовать, например, отказ от собственного времени. Данные рассуждения проиллюстрированы в таблице 4. Их можно обобщить и на собственную длину l_0 . Такие рассуждения неизбежно приводят к тому, что из отказа от признания существования эффекта зависимости массы от скорости должен логически следовать отказ от признания существования эффектов замедления времени и сокращения длин. Вряд ли современная физика готова отказаться от этих величин и эффектов, поскольку их удобно измерять и наблюдать (например, эффект замедления времени на примере мюонов, регистрируемых в атмосфере). Сторонники концепции одной массы могут сказать, что эффект замедления времени гораздо удобнее проверять непосредственными измерениями, для которых трудно предложить какую-то иную интерпретацию по сравнению с результатами экспериментов, которые раньше объяснялись зависимостью массы от скорости; кроме того, эффект замедления времени был экспериментально проверен и в макроскопических масштабах Хафеле и Китингом [2, с. 649, 650], а по отношению к массе такие успехи для макроскопических тел пока неизвестны. Вопрос о том, насколько убедительны такие аргументы, остается открытым.

В связи с критическими замечаниями в адрес двух указанных концепций можно предложить новую концепцию двух масс (таблица 1), в которой используются скалярная инвариантная масса m и тензорная m_{ij} [3, с. 340]. Достоинства последней отмечены в таблице 2. Но если критику в адрес концепции одной массы по аналогии распространить на новую концепцию, то получится, что недостатком новой концепции является отсутствие тензорных аналогов для времени и длины в кинематике. Вопрос о том, насколько важно стремление к симметрии (с учетом того, что в природе есть многочисленные примеры ее нарушения), остается открытым.

В заключение отметим, что вопросы, связанные с дефектом массы, нами не рассматривались, поскольку в рамках всех рассмотренных выше концепций дефект массы может трактоваться одинаково.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия / гл. ред. А. М. Прохоров; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М., 1988–1998. – Т. 3 : Магнитноплазменный – Пойнтинга теорема. – 1992. – 672 с.
2. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов : в 5 т. / Д. В. Сивухин. – М. : Наука, 1974–1989. – Т. 4 : Оптика. – 1980. – 752 с.
3. Угаров, В. А. Специальная теория относительности. / В. А. Угаров. – М. : Наука, 1977. – 384 с.