

УДК 372.853+530.121

В. А. ПЛЕТЮХОВ, А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ

О ТЕНЗОРНОЙ МАССЕ В КУРСЕ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗИ С ДРУГИМИ ТИПАМИ МАССЫ

При изучении основ специальной теории относительности (СТО) студенты могут столкнуться с трудностями методического характера, связанными с различными подходами к трактовке массы. В литературе по СТО (см., например, [1, с. 51, 52; 2, с. 151–152, 338–342]) уже не одно десятилетие ведутся дискуссии в связи с двумя альтернативами. 1. Масса является инвариантной величиной или зависит от скорости? 2. Масса является скалярной или тензорной величиной?

Между тем, следует отметить, что: а) возможны все сочетания, т.е. можно ввести 4 типа массы; б) эти типы масс тесно связаны между собой; в) тензорная масса не является чем-то «экзотическим» в физике. Указанные вопросы рассмотрены ниже в виде сравнительных таблиц 1, 2.

Таблица 1 – Разновидности массы

Масса	Скалярная	Тензорная
Не зависит от скорости	m_0	$\mu_0 = m_0 I_3$ (I_3 – единичная матрица 3×3)
Зависит от скорости	$M = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$	μ , где $\mu_{ij} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(\delta_{ij} + \frac{\beta_i \beta_j}{1 - \beta^2} \right)$

Таблица 2 – Взаимосвязь между разновидностями массы

Масса	M	μ	μ_0
С какой массой связана	m_0	μ_0	m_0
При каких условиях	в нерелятивистском пределе.		при любых.
Это объясняется тем, что	при $\beta \rightarrow 0$ $M \rightarrow m_0$	при $\beta_i \rightarrow 0$, $\beta_j \rightarrow 0$ $\mu_{ij} \rightarrow m_0 \delta_{ij} \Rightarrow$ $\Rightarrow \mu \rightarrow \mu_0$	с математической точки зрения нет различия между соотношениями $\vec{F} = m_0 \vec{a}$ и $\vec{F} = \mu_0 \vec{a} = m_0 I_3 \vec{a} = m_0 \vec{a}$, а также $\vec{p} = m_0 \vec{v}$ и $\vec{p} = \mu_0 \vec{v} = m_0 I_3 \vec{v} = m_0 \vec{v}$.

Противники использования в СТО других масс помимо скалярной инвариантной считают, что не следует загромождать теорию наличием разных масс (в том числе ради сохранения привычного вида классических уравнений), так как это приводит к путанице и неоправданным осложнениям (прежде всего для средней школы), особенно в случае тензорной массы. В первую очередь в связи с этим следует отметить учебное пособие [2].

Отвлекаясь от обсуждения преимуществ и недостатков различных подходов к трактовке массы (этот вопрос обсуждался отдельно в [3, с. 160–163; 4, с. 156–160; 5, с. 33–35]), можно в качестве возражения отметить, что тензорная масса и метод введения новых величин для сохранения привычного вида важных законов уже давно успешно применяется в физике, в связи с чем возникает закономерный вопрос: если так можно поступать в других разделах физики, то почему это должно считаться чем-то ущербным в релятивистской механике? Соответствующие примеры приведены в таблицах 3 и 4. При этом в таблице 3 тензор массы, предлагаемый в СТО, сравнивается с другим известным тензором, нашедшим применение в физике твердого тела. В таблице 4 показано, что стремление сохранить привычный вид уравнения $\vec{a} = m^{-1}\vec{F}$ вне границ применимости второго закона Ньютона в классическом виде нашло применение в классической механике, причем не только в связи с переходом к релятивистским скоростям.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика некоторых тензоров массы

Пример	Релятивистское движение	Электрон проводимости в металле
Тензор	масс	обратных эффективных масс
Размерность	3×3	3×3
Выражение	$\mu_{\alpha\beta}^{-1} = (\gamma m_0)^{-1} (\delta_{\alpha\beta} - v_\alpha v_\beta / c^2)$	$\mu_{\alpha\beta}^{-1} = \partial^2 E / \partial p_\alpha \partial p_\beta$
Благодаря такому тензору	можно записать 2-й закон Ньютона в классическом виде $\vec{F} = m\vec{a}$.	применимо соотношение, похожее на $m^{-1} = d^2 E / dp^2$ (как в классической нерелятивистской механике).

Таблица 4 – Примеры стремления сохранить вид уравнения $\vec{a} = m^{-1}\vec{F}$ (или $\vec{F} = m\vec{a}$) вне границ применимости 2-го закона Ньютона

Ситуация	2-й закон Ньютона не применяется в исходном виде, так как	Как решается вопрос
Движение в неинерциальных системах отсчета	он формулируется для инерциальных систем отсчета.	к силе \vec{F} добавляются силы инерции.
Релятивистские скорости	сила и ускорение уже, вообще говоря, не коллинеарны друг другу.	m трактуется как продольная или поперечная масса либо как тензор [2, с. 340].

В заключение отметим следующее.

1. Тензорная масса в СТО является примером нарушения изотропности не за счет потенциальной энергии вследствие дискретного расположения источников поля, а за счет кинетической энергии, т. е. движения, причем даже в отсутствие каких-либо внешних полей. 2. В связи с этим утверждение об изотропности пространства в СТО нуждается в уточнении. 3. Возможность тензора массы иметь только ранг 0 или 2 может быть проявлением более общей закономерности – возможность иметь любой четный ранг в зависимости от структуры полей в пространстве-времени (и самого пространства-времени).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия : в 5 т. / гл. ред. А. М. Прохоров; редкол. Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : 1988–1998. – Т. 3. Магнитноплазменный – Пойнтинга теорема. – 1992. – 672 с.

2. Угаров, В. А. Специальная теория относительности / В. А. Угаров. – М. : Наука, 1977. – 384 с.

3. Плетюхов, В. А. О подходах к изложению специальной теории относительности с использованием различных типов массы / В. А. Плетюхов, А. И. Серый // Образование XXI века: проблемы, приоритеты и перспективы развития [Электронный ресурс] : электрон. сб. материалов Респ. науч.-практ. конф., Брест, 24 окт. 2019 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: И. А. Мельничук, М. П. Михальчук ; под общ. ред. И. Г. Матыциной. – Брест : БрГУ, 2019. – С. 160–163. – Режим доступа: <http://lib.brsu.by/node/1631>. – Дата доступа: 07.10.2020.

4. Плетюхов, В. А. О возможности проведения обобщающего занятия по специальной теории относительности в форме диспута / В. А. Плетюхов, А. И. Серый // Образование XXI века: проблемы, приоритеты и перспективы развития [Электронный ресурс] : электрон. сб. материалов Респ. науч.-практ. конф., Брест, 24 окт. 2019 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: И. А. Мельничук, М. П. Михальчук ; под общ. ред. И. Г. Матыциной. – Брест : БрГУ, 2019. – С. 156–160. – Режим доступа: <http://lib.brsu.by/node/1631>. – Дата доступа: 07.10.2020.

5. Плетюхов, В. А. О сохранении свойств классической массы в специальной теории относительности / В. А. Плетюхов, А. И. Серый // Инновационные методы преподавания физики в вузе : сб. материалов Респ. науч.-метод. конф., посвящ. 70-летию со дня рождения Н. И. Чопчица ; редкол.: М. М. Барковская (гл. ред.) [и др.] – Брест : Изд-во БрГТУ, 2019. – С. 33–35.