В. А. Плетюхов, А. И. Серый
Беларусь, Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

ТЕНЗОРНАЯ МАССА В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ С ДРУГИМИ ТИПАМИ МАССЫ

При изучении основ специальной теории относительности (далее – СТО) студенты могут столкнуться с трудностями методического характера, связанными с различными подходами к трактовке массы. В литературе по СТО [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 четыре 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.

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	$M = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$	μ, где $\mu_{ij} = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}\left(\delta_{ij} + \dfrac{\beta_i \beta_j}{1-\beta^2}\right)$

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 $\beta \to 0$ $M \to m_0$	при $\beta_i \to 0$, $\beta_j \to 0$ $\mu_{ij} \to m_0 \delta_{ij} \Rightarrow$ $\Rightarrow \mu \to \mu_0$	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. Отвлекаясь от обсуждения преимуществ и недостатков различных подходов к трактовке массы (это заслуживает отдельной публикации), 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. Примеры приведены в таблицах 3 и 4.

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	$\mu_{\alpha\beta}^{-1} = (\gamma m_0)^{-1}\left(\delta_{\alpha\beta} - v_\alpha v_\beta / c^2\right)$	$\mu_{\alpha\beta}^{-1} = \partial^2 E / \partial p_\alpha \partial p_\beta$
Благодаря такому тензору	можно записать 2-й закон Ньютона в классическом виде $\vec{F} = \mu\vec{a}$	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 / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Большая рос. энцикл., 1992. – Т. 3. : Магнитноплазменный – Пойнтинга теорема. – 672 с.

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