

## Специальная теория относительности: критические замечания

(доработанный вариант статьи)

В.Н.Кочетков

### Введение

В конце XIX столетия между двумя разделами физики - механикой и электродинамикой - возникли серьезные противоречия. С одной стороны, в классической механике использовался принцип относительности Галилея, утверждавший полное равноправие систем отсчета, движущихся относительно друг друга прямолинейно и равномерно. А с другой стороны, в электродинамике движение частиц и поля описывалось в абсолютной системе отсчета, координаты которой были жестко связаны с эфиром.

Под эфиром понималась среда, заполняющая мировое пространство, в которой происходят все физические процессы, в т.ч. электромагнитные колебания. В то время физикам казалось, что для приведения классической механики в соответствие с электродинамикой необходимо только подтвердить существование эфирного ветра.

С целью определения величины эфирного ветра в 1881, 1886-1887 годах А.Майкельсоном и Э.Морли были проведены эксперименты. Но эксперименты дали отрицательный результат: эфирный ветер зарегистрирован не был. В итоге электродинамика с эфирной теорией, казалось, надежно подтвержденная опытами, не согласовывалась с классической механикой.

Выход из сложившейся ситуации был найден А.Эйнштейном, который в 1905 году создал специальную теорию относительности (СТО). Взяв из классической механики принцип равноправия всех инерциальных систем отсчета (принцип относительности), и сделав предположение о постоянстве скорости света в вакууме (принцип инвариантности скорости света), А.Эйнштейн установил, что пространственно-временная связь между инерциальными системами отсчета выражается преобразованиями Лоренца, а не Галилея.

СТО существует уже более ста лет, даже несмотря на наличие большого количества ее противников. Одной из причин живучести СТО является ее простота. Так, вся кинематическая часть СТО строится на четырех простейших уравнениях - преобразованиях Лоренца. А основанием для СТО служат следующие исходные условия:

- симметрия пространства и времени (пространство - однородно и изотропно, а время - однородно);

- принцип относительности, утверждающий, что в любых инерциальных системах отсчета все физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково, т.е. физические законы независимы (инвариантны) по отношению к выбору инерциальной системы отсчета, а уравнения, выражающие эти законы, имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета;

- принцип инвариантности скорости света, утверждающий, что скорость света в вакууме не зависит от движения источника света, т.е. скорость света одинакова во всех направлениях и во всех инерциальных системах отсчета.

### СТО в общем виде

Несмотря на простоту у СТО имеется одно слабое место. Это - принцип инвариантности скорости света, который позволил объяснить отсутствие регистрации эфирного ветра в экспериментах А.Майкельсоном и Э.Морли и др.

Есть критики СТО, несогласные как с методиками проведения экспериментов по регистрации эфирного ветра, так и с объяснением результатов экспериментов. Если предположить, что они правы, то к чему это приведет? К невозможности применять принцип инвариантности скорости света.

Чтобы не влезать в спор между сторонниками и противниками СТО, можно поступить следующим образом. Установить: возможна ли теория, в которой СТО являлась бы со-

ставной частью? Да, можно создать такую теорию!

Для отличия назовем эту теорию – специальной теорией относительности в общем виде или сокращенно СТООВ. В качестве исходных условий для создания СТООВ можно принять только симметрию пространства и времени и принцип относительности.

Использование исходных условий позволяет получить, что в СТООВ пространственно-временная связь между инерциальными системами отсчета так же, как и в СТО, будет записана в виде преобразований Лоренца. Только в случае СТООВ коэффициент пропорциональности  $\beta$  в преобразованиях Лоренца может иметь два значения:

- для случая, если значение коэффициента пропорциональности  $\beta$  лежит в диапазоне  $\beta > 1$ :

$$\beta = 1 / [1 - (V^2 / c_1^2)]^{1/2} \quad (1)$$

- для случая, если значение коэффициента пропорциональности  $\beta$  лежит в диапазоне  $0 < \beta < 1$ :

$$\beta = 1 / [1 + (V^2 / c_2^2)]^{1/2} \quad (2)$$

где:  $V$  – скорость движения инерциальных систем отсчета относительно друг друга,

$c_1$  и  $c_2$  – действительные постоянные величины.

Об указанных диапазонах коэффициента пропорциональности  $\beta$  можно сказать следующее:

- при значениях коэффициента пропорциональности  $\beta$ , лежащих в диапазоне  $\beta > 1$ , должна существовать такая скорость  $c_1$  движения точки, которая была бы инвариантна в любой инерциальной системе отсчета;

- при значениях коэффициента пропорциональности  $\beta$ , лежащих в диапазоне  $0 < \beta < 1$ , не может существовать скорость движения точки, инвариантная в любой инерциальной системе отсчета.

СТО может представлять собой частный случай СТООВ, когда значение коэффициента пропорциональности  $\beta$  лежит в диапазоне  $\beta > 1$ , если предположить, что постоянная величина  $c_1$  равна скорости света  $c$  в вакууме.

В СТО для получения зависимостей массы, импульса и кинетической энергии тела от его скорости движения использовались законы сохранения энергии и импульса при рассмотрении замкнутой механической системы, состоящей из двух тел, испытывающих однократное и ограниченное во времени абсолютно упругое или абсолютно пластичное столкновение, в инерциальных системах отсчета в моменты времени до и после столкновения (также для этой цели применялась и функция Лагранжа).

Законность применения в инерциальных системах отсчета указанных законов объясняется тем, что закон сохранения энергии связан с однородностью времени (это свойство времени проявляется в том, что в инерциальных системах отсчета законы движения замкнутой механической системы не зависят от выбора начала отсчета времени), и закон сохранения импульса связан с однородностью пространства (это свойство пространства заключается в том, что в инерциальных системах отсчета физические свойства замкнутой механической системы и законы ее движения не зависят от выбора положения точки начала координат инерциальной системы отсчета).

Используя по аналогии с СТО законы сохранения энергии и импульса при рассмотрении замкнутых механических систем тел, испытывающих однократные и ограниченные во времени столкновения, можно получить и для СТООВ зависимости массы  $M$ , импульса  $P$  и кинетической энергии  $E$  тела, двигающегося со скоростью  $v$  и имеющего массу покоя  $M_0$ :

$$M = \gamma \cdot M_0 \quad (3)$$

$$P = \gamma \cdot v \cdot M_0 \quad (4)$$

$$E = (\gamma^2 \cdot v^2 \cdot M_0) / (\gamma + 1) \quad (5)$$

где коэффициент пропорциональности  $\gamma$ , как и коэффициент пропорциональности  $\beta$ , будет определяться из зависимостей:

- для случая, если значение коэффициента пропорциональности  $\gamma$  лежит в диапазоне  $\gamma > 1$ :

$$\gamma = 1 / [1 - (v^2 / c_1^2)]^{1/2} \quad (6)$$

- для случая, если значение коэффициента пропорциональности  $\gamma$  лежит в диапазоне  $0 < \gamma < 1$ :

$$\gamma = 1 / [1 + (v^2 / c_2^2)]^{1/2} \quad (7)$$

Для сравнения в таблицах 1 и 2 приведены основные значения массы  $\mathbf{M}$ , импульса  $\mathbf{P}$  и кинетической энергии  $\mathbf{E}$  тела в зависимости от величины его скорости  $v$ :

- для значений коэффициента пропорциональности  $\gamma$ , лежащих в диапазоне  $\gamma > 1$ :

Таблица 1

Скорость $v$	Масса $\mathbf{M}$	Импульс $\mathbf{P}$	Кинетическая энергия $\mathbf{E}$
$v \ll c_1$	$M_0$	$M_0 \cdot v$	$(M_0 \cdot v^2)/2$
$v < c_1$	имеет действительное значение	имеет действительное значение	имеет действительное значение
$v = c_1$	$\infty$	$\infty$	$\infty$
$v > c_1$	не имеет действительного значения	не имеет действительного значения	не имеет действительного значения

- для значений коэффициента пропорциональности  $\gamma$ , лежащих в диапазоне  $0 < \gamma < 1$ :

Таблица 2

Скорость $v$	Масса $\mathbf{M}$	Импульс $\mathbf{P}$	Кинетическая энергия $\mathbf{E}$
$v \ll c_2$	$M_0$	$M_0 \cdot v$	$(M_0 \cdot v^2)/2$
$v < c_2$	имеет действительное значение	имеет действительное значение	имеет действительное значение
$v = c_2$	$M_0/2^{1/2}$	$(M_0 \cdot c_2)/2^{1/2}$	$M_0 \cdot c_2^2 \cdot (1-1/2^{1/2})$
$v > c_2$	имеет действительное значение	имеет действительное значение	имеет действительное значение
$v = \infty$	стремится к нулю	$M_0 \cdot c_2$	$M_0 \cdot c_2^2$

Как видно из таблиц 1 и 2 значения коэффициента пропорциональности в диапазонах  $\gamma > 1$  и  $0 < \gamma < 1$  являются равноценными, т.к. в обоих случаях удовлетворяются граничные условия для малых скоростей.

### Теоретическая проверка СТООВ

Имея два возможных значения коэффициента пропорциональности  $\beta$  (и  $\gamma$ ), хотелось бы определить: какое же из его значений соответствует действительности? Ведь не может быть одновременно двух вариантов пространственно-временной связи между двумя инерциальными системами отсчета для одной и той же скорости их взаимного движения.

Для того, чтобы это сделать, необходимо выбрать, на что можно опереться, на какие физические законы? Самый лучший вариант – это снова воспользоваться законами сохранения импульса и энергии для замкнутой системы тел. Тем более, что они уже применялись при определении зависимостей массы, импульса и кинетической энергии тела от скорости его движения.

Законы сохранения импульса и энергии утверждают, что импульс и энергия замкнутой механической системы (на которую не действуют внешние силы) не изменяются с течением времени, т.е. в любой инерциальной системе отсчета для любого момента времени вектор импульса и величина энергии замкнутой механической системы постоянны (т.к. отсутствует внешнее воздействие).

Другой очень важный вопрос: что рассматривать? Для определения зависимостей массы, импульса, кинетической энергии тела от скорости его движения (формулы (3)-(5)) использовалась замкнутая механическая система тел, взаимодействие которых носило разовый и ограниченный во времени характер, что позволило выбрать в инерциальных систе-

мах отсчета два события: первое событие - до начала взаимодействия тел, второе событие - после окончания взаимодействия тел.

Тогда можно задать законный вопрос: обеспечат ли в инерциальных системах отсчета эти зависимости импульса и кинетической энергии тела от скорости (формулы (4)-(5)) выполнение законов сохранения импульса и энергии замкнутой системы тел, у которых взаимодействие носит постоянный по времени характер?

Чтобы проверить это, можно рассмотреть простейший пример (чем-то похожий на школьный пример по разъяснению центробежной силы с помощью двух ведер с водой). Допустим, что имеется замкнутая механическая система, состоящая из двух тел 1 и 2, соединенных между собой нитью 3 и имеющих равные массы в состоянии покоя.

В инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}$ , в которой центр масс этой замкнутой механической системы неподвижен, тела 1 и 2 (и удерживающая их нить 3) вращаются с угловой скоростью  $\omega$  вокруг общего центра масс. Причем расстояние от тела 1 или тела 2 до центра масс системы, состоящей из тел 1 и 2 и нити 3, равно  $R$ .

Я думаю, что не возникает сомнения по поводу того, что для любого момента времени  $t$  в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}$  импульс и кинетическая энергия системы, состоящей из тел 1 и 2 и нити 3, постоянны, т.к. в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}$  должны выполняться законы сохранения импульса и энергии замкнутой механической системы. А отсутствие изменения кинетической энергии системы, состоящей из тел 1 и 2 и нити 3, в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}$  связано с невозможностью изменения потенциальных энергий у тел 1 и 2 и нити 3.

Также предположим, что имеется инерциальная система отсчета  $\mathbf{K}'$ , движущаяся относительно инерциальной системы отсчета  $\mathbf{K}$  с некоторой скоростью  $\mathbf{V}$  в плоскости, параллельной плоскости вращения тел 1 и 2.

Задавая конкретные значения величин масс покоя тел 1 и 2 и нити 3, скорости  $\mathbf{V}$  и угловой скорости  $\omega$ , была проведена цифровая оценка значений импульса  $\mathbf{P}'$  и кинетической энергии  $\mathbf{E}'$  механической системы, состоящей из тел 1 и 2 и нити 3, в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}'$  для различных значений момента времени  $t'$ .

Проведенный цифровой расчет показал, что в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}'$  вектор импульса  $\mathbf{P}'$  и кинетическая энергия  $\mathbf{E}'$  замкнутой механической системы, состоящей из тел 1 и 2 и нити 3, являются переменными величинами, значения которых периодически изменяются в зависимости от значения времени  $t'$ . Т.е. в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}'$  вектор импульса  $\mathbf{P}'$  и кинетическая энергия  $\mathbf{E}'$  представляют собой функции времени  $t'$ , а это противоречит законам сохранения импульса и энергии, т.к. согласно законам сохранения импульса и энергии в инерциальной системе отсчета импульс и энергия замкнутой механической системы обязательно должны быть постоянными.

Причем нарушение законов сохранения импульса и энергий имело место как для случая, когда значения коэффициентов пропорциональности  $\beta$  и  $\gamma$  лежат в диапазонах  $\beta > 1$  и  $\gamma > 1$ , так и для случая, когда значения коэффициентов пропорциональности  $\beta$  и  $\gamma$  лежат в диапазонах  $0 < \beta < 1$  и  $0 < \gamma < 1$ .

Нарушения законов сохранения импульса и энергий в рассмотренном примере также были отмечены в статье ассоциированного редактора журнала «Physics Essays» доктора Michael H. Brill (Brill M.H., Cochetkov's speeding bola: yet another entanglement for special relativity, NPA Conference, June 2010, Long Beach, CA).

Более того, теоретические расчеты показывают, что в инерциальной системе отсчета  $\mathbf{K}'$  для замкнутой механической системы, состоящей из тел 1 и 2 и нити 3, законы сохранения импульса и энергии будут выполняться только в случае, когда постоянные величины  $c_1$  и  $c_2$  равны бесконечности. Т.е. выполнение законов сохранения импульса и энергии в данном примере возможно только тогда, когда пространственно-временная связь между инерциальными системами отсчета  $\mathbf{K}$  и  $\mathbf{K}'$  выражается преобразованиями Галилея (коэффициент пропорциональности  $\beta = 1$ ) независимо от того, какое значение имеет скорость  $\mathbf{V}$ .

В итоге получается, что попытка определить действительное значение коэффициента пропорциональности  $\beta$  привела к неожиданному результату: в инерциальных системах отсчета при значениях коэффициента пропорциональности  $\beta$ , лежащих в диапазонах  $\beta > 1$  и  $0 < \beta < 1$ , возможно невыполнение законов сохранения импульса и энергии замкнутой механической системы.

Но если применение СТО (и СТООВ) при рассмотрении отдельных примеров замкнутых механических систем может привести к нарушению законов сохранения импульса и энергии в инерциальных системах отсчета, то остается только одно - выбирать, что более важно: обязательность выполнения СТО или обязательность выполнения основополагающих физических законов – законов сохранения импульса и энергии?

Автор более склонен к необходимости выполнения двух последних законов.