

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
**«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени В.П. Астафьева»**

Институт математики, физики и информатики  
Кафедра физики  
Специальность 050203.65 «Физика» с дополнительной специальностью  
050202.65 «Информатика»

ДОПУСКАЮ К ЗАЩИТЕ  
Зав. кафедрой физики  
Баранов А.М. \_\_\_\_\_  
«\_15\_» июня 2015 г

Выпускная квалификационная работа

**ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ  
В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ**

Выполнил студент группы 57  
И.В.Игнатьев \_\_\_\_\_  
Форма обучения очная

Научный руководитель:  
доктор физико-математических наук, профессор  
А.М. Баранов \_\_\_\_\_

Рецензент:  
кандидат технических наук, доцент  
С.В. Бортновский \_\_\_\_\_

Красноярск  
2015

## Содержание.

Введение. . . . .	3
Глава I. Краткое изложение основ СТО.	
1.1. Системы координат и системы отсчета. . . . .	5
1.2. Принцип относительности. . . . .	8
1.3. Понятие времени и его измерение. . . . .	9
1.4. Преобразование Лоренца. . . . .	10
1.5. Правило сложения скоростей. . . . .	11
1.6. Видимая форма движущихся тел. . . . .	13
Глава II. Изложение СТО в школьном курсе физики и связанные с этим заблуждения.	
2.1. Краткий обзор анализируемых учебников. . . . .	18
2.2. Постулаты СТО в школьном курсе физики. . . . .	20
2.3. Сложение скоростей в школьном курсе физики. . . . .	21
2.4. Следствие из преобразования Лоренца в школьном курсе физики. . . . .	22
2.5. Принцип относительности и преобразование Галилея в школьном курсе физики. . . . .	23
Заключение. . . . .	25

## Введение

В настоящем, 2015 г., исполняется 100 лет общей теории относительности Эйнштейна, ОТО (современной теории гравитации), и 110 лет специальной теории относительности (СТО). Эти теории прошли проверку временем, а также рядом физических экспериментов и наблюдений, что дает полное право **вводить** основы данных теорий в курс физики среднего и высшего образования. Кроме того, эти теории дают большой и неоценимый вклад в становлении и развитие общего естественно-научного мировоззрения школьников и студентов. Изложение или, как еще можно сказать преподнесение, такого сложного, но в тоже время интересного материала, требует особого подхода. Поэтому специальная, **или** ее еще называют частная, теория относительности играет важную роль в системе образования учителя физики, так как элементы специальной теории относительности имеются в программе средней школы. Знание полученные при изучении СТО и использование данную выпускную квалификационную работу, как пособие для самостоятельного изучения, позволит **без** труда **апеллировать к школьным материалам**, изложенным в учебниках для средней школы.

Однако в ряде школьных учебников физики зачастую вопросы, связанные со специальной теорией относительности изложены либо неполно (с физической точки зрения), либо присутствует ряд заблуждений, касающихся, в частности, эффектов СТО, **и наша задача --** попытаться исправить данное положение дел. Поэтому в данной выпускной квалификационной работе будут рассмотрены пробелы и заблуждения, возникающие при изложении СТО в школьном курсе физики. Мы попытаемся внести свои исправления и дополнения в школьный курс физики, а именно в раздел СТО, подобрав наиболее правильный и корректный материал, максимально кратко изложив его в первой главе. Содержание и структура изложения, подобранных нами материалов, будут представлены в таком виде, в котором, по нашему мнению, они должны преподноситься ученикам при изучении школьного курса СТО. Во второй главе, мы проанализируем допущенные огрехи в школьных учебниках физики, касающиеся СТО. Взяв за эталон, подобранный нами материал, **который не всегда излагается и в высшей школе**, и сравним его с материалом, для среднего образования, изложенным в стандартных школьных учебниках по физики.

Как известно любая наука или какой-то ее раздел, ставит перед собой глобальную задачу, при решении которой приобретает смысл данной

теории. На наш взгляд, основной задачей специальной теории относительности является нахождение условий, при которых описание всей совокупности явлений природы в инерциальных системах отсчета оказывается тождественным. Иными словами, основной задачей специальной теории относительности можно считать нахождение законов физики, справедливых при больших скоростях (близких к скорости света), не зависящих от выбора инерциальной системы отсчета. На самом деле, это есть революционный путь, который несет в себе переосмысливание самых глубоких, основных представлений о явлениях и законах физики.

Теория относительности представляет собой совершенно новое учение о пространстве и времени, пришедшее на смену старым классическим представлениям. Поэтому, при изучении основ специальной теории относительности потребуется критический пересмотр ряда привычных нам, якобы очевидных, основанных казалось-бы на «здравом смысле», понятий и представлений, изученных в классическом курсе физики.

## Глава I

### Краткое изложение основ СТО

#### 1. Системы координат и системы отсчета

При постановке любого физического эксперимента подразумевается, что эксперимент проводится в определенных условиях, в определенной системе или, как еще говорят, **определенном пространстве**. Какое пространство необходимо для геометрического представления физических свойств – зависит от характера этих свойств.

Рассмотрим положение точки в пространстве. Можно говорить о положении точки на линии, на поверхности и в трехмерном пространстве. Положение точки на линии может быть определено и выражено числом, если введена начальная точка отсчета. Тогда расстояние данной точки от выбранной нами точки отсчета, выраженное в единицах длины, указывает положение данной точки на линии.

Чтобы определить положение данной точки на плоскости, вводится система координат, т.е. система маркировки точек пространства. В частности, наиболее известная и распространенная прямоугольная система координат, введенная Р. Декартом. Декарт первый осознал, что вещественные числа могут быть наиболее универсальной маркировкой точек трехмерного пространства, позволяющей отличить одну точку от другой.

Система координат не имеет физического смысла, так как ее выбор субъективен. Это просто система меток точек пространства. Однако, чтобы придать системе координат физический **смысл, ее необходимо** калибровать с помощью часов и линеек. Декарт ввел систему прямоугольных координат, состоящую из двух пересекающихся взаимно перпендикулярных прямых – координатных осей. Система координат позволяет сопоставить каждой точке плоскости. Координаты дают возможность графически показать зависимость между величинами. Допустим  $x$  – независимая переменная, а  $y$  – некоторая функция  $x$ ; другими словами, каждому значению  $x$  соответствует некоторое значение  $y$ . Таким образом на плоскости каждой абсциссе  $x$  соответствует ордината  $y$ : когда абсцисса  $x$  увеличивается или уменьшается, ордината  $y$  изменяется определенным образом и описывает определенную кривую, соответствующую функции  $y=f(x)$  (подробнее **см.** [3]).

При переходе от одной системы координат к другой абсциссы и ординаты точек изменяются. Переходы данного рода называют преобразованием координат. Преобразование может состоять в изменении начала координат – точки пересечения координатных осей  $X$  и  $Y$ . На рис.1 проиллюстрированы абсциссы  $x$  и  $x'$ , а также ординаты  $y$  и  $y'$  одной и той же точки в двух системах координат  $XU$  и  $X'Y'$ , которые отличаются одна от другой начальными точками  $O$  и  $O'$ .

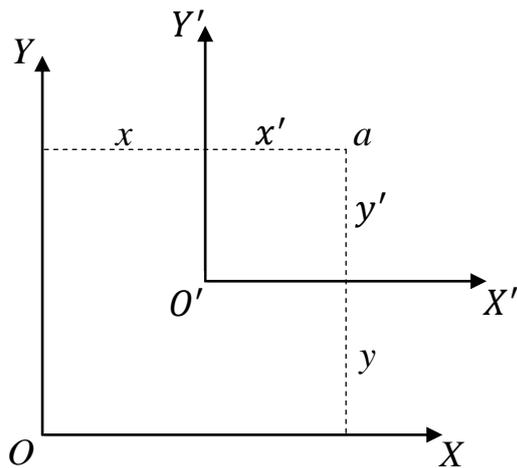


Рис. 1

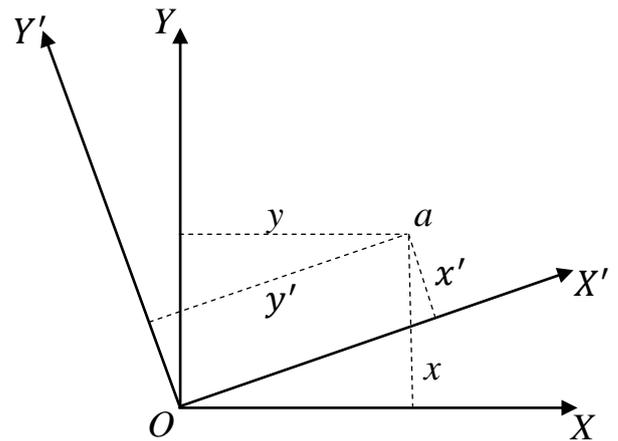


Рис. 2

Рис.2 изображает две системы координат, которые имеют одну и ту же начальную точку отсчета, но координатные оси этих систем отличаются направлениями: систему  $X'Y'$  можно получить из системы  $XU$  поворотом осей против часовой стрелки.

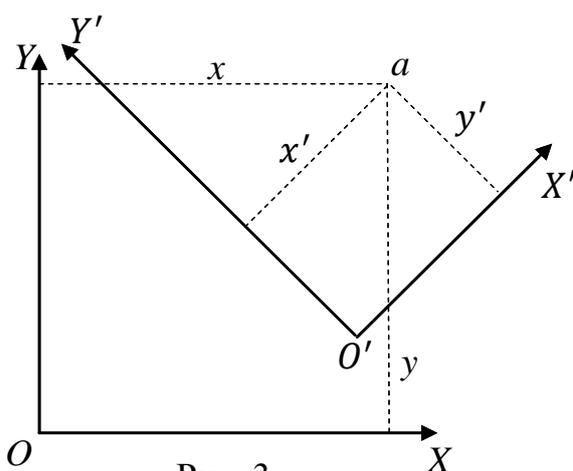


Рис. 3

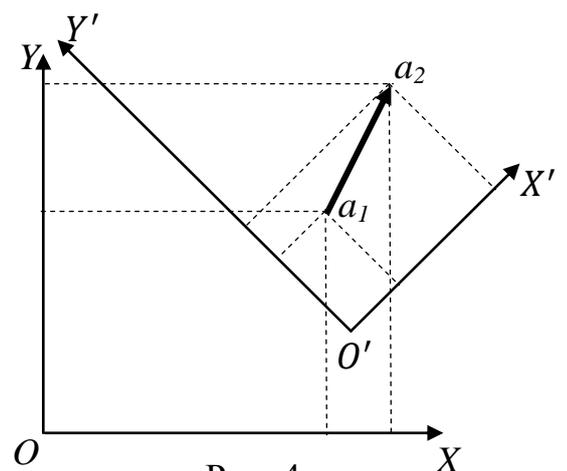


Рис. 4

Наконец рис.3 система координат  $X'Y'$ , получена и переносом начала координат (т.е. выбором новой точки отсчета) и поворотом координатных осей.

При переходе от одной системы координат к другой, так называемое преобразование координат, – меняются абсциссы и ординаты точек, но не меняется расстояние между точками и, следовательно, не меняются геометрические фигуры. На рисунке 4 изображена простейшая геометрическая фигура, состоящая из двух точек; при этом легко увидеть, что расстояние между точками будет одинаковым, независимо от того, в каких координатных системах измерены координаты данных точек. Величины, не меняющиеся при таких переходах, т.е. не зависящие от преобразования координат, называются инвариантными величинами или инвариантами преобразований.

Мы рассматриваем только один класс преобразований: переходы от прямоугольной системы координат к другой прямоугольной системе. Подобные преобразования не меняют структуры геометрических фигур. Какую бы точку мы не выбрали в качестве начала координат, к какой бы точке мы ни отнесли положение любых заданных фигур, это не повлияет на их структуру. Равноправие точек, т.е. отсутствие привилегированных точек называется однородностью пространства. Независимость структуры системы от поворота координатных осей свидетельствует о другом свойстве пространства: о равноправии направлений, это свойство пространства называется его изотропностью или отсутствием привилегированных направлений.

Расстояние между точками, составляющими геометрическую фигуру, не зависит от выбора системы координат, определяющих положение этих точек; при переходе от одной системы координат к другой конфигурация точек, т.е. размеры и форма геометрической фигуры не меняются. Конфигурация точек является инвариантом координатных преобразований, и поэтому о последних нельзя судить по внутренним геометрическим свойствам фигуры: следовательно, понятие положения в пространстве имеет чисто относительный смысл. Все точки пространства равноправны, в пространстве не привилегированного начала отсчета, пространство в этом смысле однородно. Изменение направлений координатных осей также оставляет неизменным расстояние между любыми двумя точками, - в этом состоит изотропность пространства.

Другими словами, в заданной инерциальной системе отсчета (ИСО) в классической физике вводятся понятия однородность и изотропность пространства. Кроме того, существует еще и однородность времени, означающая эквивалентность различных моментов времени.

Система отсчета – это система материальных тел (или одного тела), снабженная эталоном времени, масштабом длинны и, кроме того системой

координат, т.е. системой меток точек нашего пространства. Поэтому в данной системе отсчета может быть любое количество систем координат (**декартова**, полярная, сферическая и т.д.).

Инерциальная система отсчета (ИСО) – это система отчета, движущаяся равномерно и прямолинейно. Другими словами, для нее выполняется первый закон Ньютона (закон инерции). При этом все инерциальные системы отсчета движутся друг относительно друга с постоянной скоростью.

## 2. Принцип относительности

Начнем, пожалуй с того, что Галилей обнаружил факт, который гласит следующее: состояние равномерного прямолинейного движения не оказывает влияния на течение механических процессов. Галилей не задумывался о других явлениях, так как в те времена механика составляла по сути всю физику. До середины прошлого века считали, что всю физику можно объяснить на основе механики Ньютона.

В середине XIX в., была создана теория электромагнитных явлений (теория Максвелла). Эта теория сумела дать объяснение световым явлениям. В то же время появилась теория тепловых явлений-термодинамика и статистическая физика. Возник вопрос о том, как влияет равномерное прямолинейное движение на все физические явления.

**Первый постулат СТО**, принцип относительности Эйнштейна, распространяет принцип относительности Галилея на всю физику: состояние равномерного прямолинейного движения не оказывает влияния ни на какие физические явления.

Он также может быть сформулирован следующим образом: тождественные опыты, поставленные в любой ИСО при тождественных начальных условиях, дают тождественные результаты. Иначе говоря: все инерциальные системы отсчета равноправны.

Современная физика учит, что взаимодействия (сигналы) могут передаваться лишь с конечной скоростью, этой скоростью передачи сигнала является скорость света в вакууме  $c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

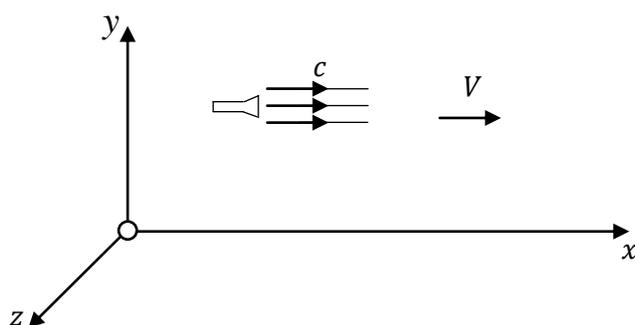


Рис.5

Итак, СТО справедлива постольку, поскольку существует предельная скорость сигнала, одинаковая во всех ИСО. Таким образом, мы подошли ко **второму постулату СТО**. В заданной инерциальной системе отсчета, скорость света не зависит от скорости источника. Для наблюдателя, находящегося в ИСО, скорость **света, испускаемого фонариком**, движущегося относительно системы отсчета со скоростью  $V$ , равна  $c = const$ , т.е. не зависит от скорости, с которой движется источник **света**.

### 3. Понятие времени и его измерение

Понятие времени тесно связано с длительностью физических процессов. Ряд таких процессов кладется в основу измерения времени, например, периодические повторяющиеся процессы и связанные с ними различные модификации часов, в том числе и электронные. Время однородно, **т.е.** невозможно обнаружить мгновение, которое отличалось бы от других само по себе и имело возможность стать началом привилегированной системы отсчета времени.

В связи с конечностью скорости сигналов (максимальная скорость – скорость света) различают местное (локальное) время и время удаленных объектов. Локальное время – время происходящего события по часам, находящимся в непосредственной близости от данного события. Другими словами, при определении местного времени скорость сигнала в некоторой пространственной окрестности события, считается бесконечной. Конечность скорости сигналов влечет за собой еще один немало важный аспект – относительность одновременности. Зачастую данный аспект связывают с проблемой синхронизации часов, которые находятся в различных точках

пространства.

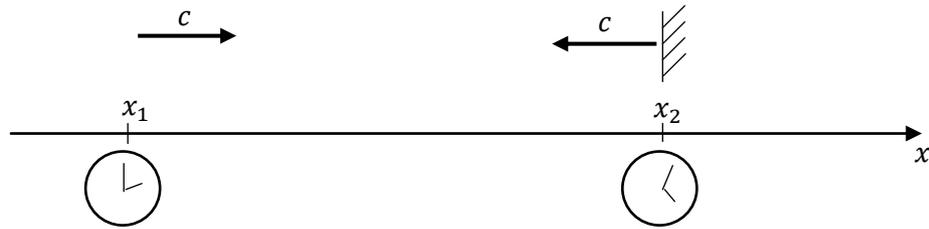


Рис.6

Допустим нам необходимо синхронизировать часы, которые находятся в одной системе отсчета, но в различных точках  $x_1$  и  $x_2$  на некотором расстоянии  $l$ , друг от друга. Для их синхронизации воспользуемся методом Эйнштейна, который осуществляется следующим образом. Из первой точки, с координатой  $x_1$ , в некоторый момент времени  $t_1$  зафиксированный часами, находящимися непосредственно в данной точке, испускается световой сигнал, который в свою очередь доходит до точки с координатой  $x_2$ , и отражаясь от зеркала в данной точке приходит в исходную точку  $x_1$  в момент времени  $t_3$ . Таким образом, на часах, находящихся в точке  $x_2$ , по достижению данной точки сигналом, необходимо установить время  $t_2$  исходя из выражения:

$$t_2 = \frac{t_3 + t_1}{2} = t_1 + \frac{1}{2}(t_3 - t_1).$$

При этом считается (по соглашению), что скорость света туда и обратно совпадают. Это – гипотеза, которая не поддается экспериментальному доказательству. Если попытаться провести экспериментальное доказательство данной гипотезы, мы невольно попадем в круговой капкан связанный с следующим фактом. Чтобы измерить скорость света туда и обратно нам безусловно понадобится система синхронно идущих часов, а как мы уже выяснили часы синхронизируются при помощи скорости света. Ну вот и получается, что мы попадаем в замкнутый круг.

#### 4. Преобразование Лоренца.

Рассмотрим две инерциальные системы отсчета, обозначив их  $K$  и  $K'$ . Допустим что система  $K'$  движется относительно системы  $K$  со скоростью  $v_0$ .

В нерелятивистской механике переход от одной системы к другой осуществляется с помощью преобразований Галилея.

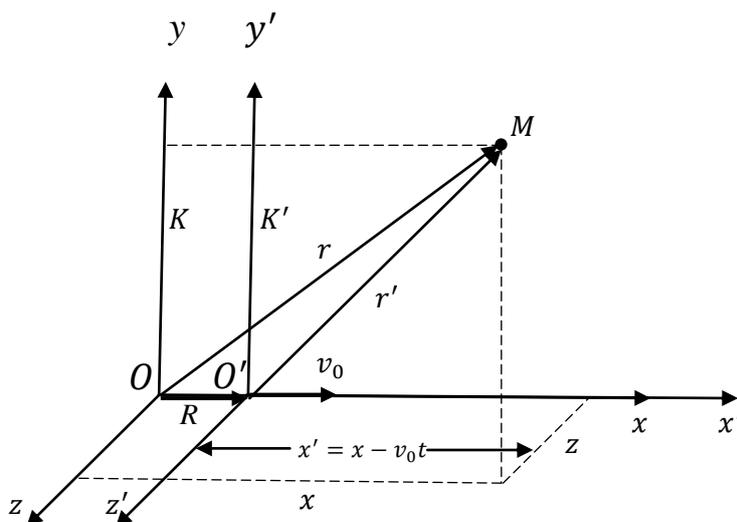


Рис.7

Допустим, что в момент времени  $t$  радиус-вектор точки  $M$  в системе  $K'$  равен  $r'$ . Тогда из рис.5 видно, что  $r' = r - R$ . Это соотношение справедливо для любого момента времени, но  $R$  меняется по закону  $R = v_0 t + R_0$ , где  $R_0$  - радиус-вектор, определяющий положение начала  $O'$  в момент времени  $t = 0$ . Если принять, что в момент  $t = 0$  оба начала совпадают, то  $R = v_0 t$  и мы получаем закон преобразования координат в векторной форме:

$$r' = r - v_0 t,$$

где компоненты вектора  $v_0$  заданы в системе  $K$ . Из векторной формулы видно, что связь между координатами точки  $M$  определяется формулами:

$$\begin{aligned} x' &= x - v_0 t, \\ y' &= y, \\ z' &= z, \\ t' &= t. \end{aligned}$$

Из данных преобразований вытекает закон сложения скоростей который находится в противоречии с принципом постоянства скорости света. Из этого следует, что преобразования Галилея должны быть заменены другими формулами, а именно формулами преобразования Лоренца которые имеют вид:

$$x = \frac{x' + \beta c t'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad t = \frac{t' + \left(\frac{\beta}{c}\right) x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

$$x' = \frac{x' - \beta ct'}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = \frac{t - \left(\frac{\beta}{c}\right)x}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

где  $\beta = \frac{v_0}{c}$ .

Легко понять, что в случае  $v_0 \ll c$  (т.е.  $\beta \ll 1$ ) преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея. Но это не говорит о том, что преобразование Галилея неприменимы к релятивистским движениям. Рассматривая данное преобразование, как преобразование в пространстве-времени, путем ортогонализации, возможно получение преобразований Лоренца. А так как данный процесс не связан с преобразованием систем отсчета, то преобразование Галилея можно считать справедливыми по отношению к релятивистским движениям и, в отличие от лоренцевских преобразований, не ортогональными преобразованиями в пространстве-времени.

## 5. Правило сложения скоростей

Рассмотрим основные способы сложения скоростей, а именно правило параллелограмма и правило Эйнштейна. Их выбор зависит от того, в какой системе отсчета измерены (определены) эти скорости.

### А. Правило параллелограмма.

Пусть тело, в заданной системе отсчета, за известный промежуток времени переместился из пункта А в пункт В на вектор равный  $\overrightarrow{\Delta L}_1 = \vec{u}\Delta t$  (по определению средней скорости тела). После чего данное тело из пункта В переместилось в пункт С на вектор равный  $\overrightarrow{\Delta L}_2 = \vec{v}\Delta t$  за то же время.

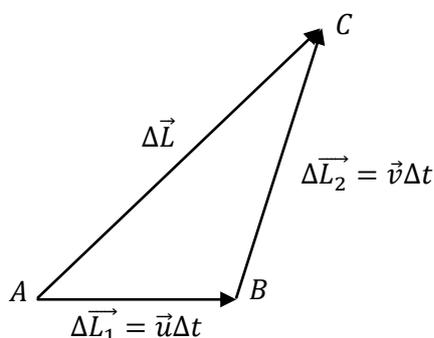


Рис.8

Согласно правилу параллелограмма для перемещений  $\overrightarrow{\Delta L}_1$  и  $\overrightarrow{\Delta L}_2$  будет справедливо следующее равенство  $\overrightarrow{\Delta L}_1 + \overrightarrow{\Delta L}_2 = \overrightarrow{\Delta L}$ . А каково же должна

быть скорость  $\vec{w}$ , чтобы за время  $\Delta t$  тело переместилось на вектор  $\overline{\Delta L}$ ? Очевидно, что должно выполняться соотношение  $\overline{\Delta L} = \vec{w}\Delta t = \vec{u}\Delta t + \vec{v}\Delta t$ . Откуда получаем параллелограмм скоростей:

$$\vec{w} = \vec{u} + \vec{v},$$

Который никак не связан с принципом относительности, так как все рассуждения проводились в одной и той же системе отсчета, где были измерены  $\vec{u}$  и  $\vec{v}$  (см. [4]). Несложно догадаться, что полученная нами формула фактически есть разложение вектора на составляющие.

### Б. Правило сложения скоростей по Эйнштейну.

Возникает совершенно иная ситуация, когда возникает необходимость сделать перерасчет скоростей из одной системы отсчета в другую. Рассмотрим вот такой пример, вагон поезда, движется по отношению к железнодорожному полотну дороги с некоторой скоростью  $\vec{V}$ . Внутри нашего вагона бежит человек, по направлению следования вагона, со скоростью  $\vec{v}$  относительно вагона. Необходимо найти скорость перемещения человека относительно полотна дороги.

Допустим, что  $v_x = dx/dt$  есть компонента скорости человека относительно платформы, а  $v'_x = dx'/dt'$  - компонента скорости относительно вагона. Воспользовавшись преобразованиями Лоренца получаем:

$$dx = \frac{dx' + Vdt'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}, \quad dy = dy', \quad dz = dz', \quad dt = \frac{dt' + \frac{V}{c^2} dx'}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}.$$

Разделим первые три равенства на четвертое и введем скорости найдем:

$$v_x = \frac{v'_x + V}{1 + \frac{v'_x V}{c^2}}, \quad v_y = \frac{v'_y \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + \frac{v'_x V}{c^2}}, \quad v_z = \frac{v'_z \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}{1 + \frac{v'_x V}{c^2}}.$$

Данные формулы определяют преобразование скоростей. В предельном случае, когда скорость света стремиться к бесконечности, они переходят в формулы классической механики  $v_x = v'_x + V$ ,  $v_y = v'_y$ ,  $v_z = v'_z$ .

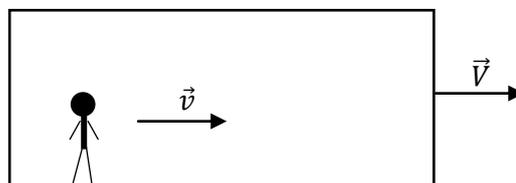




Рис.9

В частном же случае движение пассажира имеет такие компоненты скорости  $v_x = v$ ,  $v_y = v_z = 0$ . Тогда  $v'_y = v'_z = 0$ , а  $v'_x = v'$ , причем

$$v = \frac{v' + V}{1 + \frac{v'V}{c^2}}.$$

Данная формула позволяет ответить на вопрос о результирующей скорости, если одна из двух скоростей или обе скорости равны скорости света: в обоих случаях получаем  $v = c$ .

## 6. Видимая форма движущихся тел

Вопрос о форме движущихся тел вытекает из одного из следствий преобразований Лоренца, а именно: определение длины тел в разных ИСО. Рассмотрим стержень, расположенный вдоль оси  $x'$  и покоящийся относительно системы  $K'$ . Его длина в данной системе равна  $l_0 = x'_2 - x'_1$ . Относительно системы  $K$  стержень движется со скоростью  $v = v_0$ . Для определения длины стержня в этой системе необходимо отметить координаты концов стержня  $x_1$  и  $x_2$  (сделать засечки) в один и тот же момент времени  $t_1 = t_2 = b$ .

Чтобы найти соотношение между  $l_0$  и  $l$ , необходимо воспользоваться преобразованиями Лоренца и мы получим:

$$x'_1 = \frac{x_1 - v_0 b}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}, \quad x'_2 = \frac{x_2 - v_0 b}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}$$

откуда следует

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - v_0^2/c^2}}.$$

Заменив обозначения и относительную скорость системы отсчета  $v_0$  равной ей скоростью  $v$  стержня относительно системы  $K$ , придем к соотношению

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}.$$

Таким образом, длина стержня  $l$ , измеренная в системе, относительно которой он движется, оказывается меньше **длины**  $l_0$ , измеренной в системе, относительно которой заданный стержень покоится. Заметим, что в направлении осей  $y$  и  $z$  размеры стержня одинаковы во всех системах отсчета.

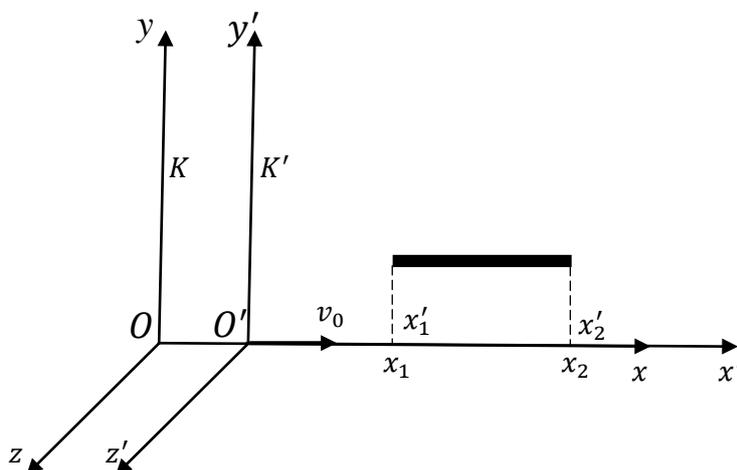


Рис.10

Итак, у движущихся тел размеры их в направлении движения сокращаются тем больше, чем больше скорость движения. Это явление называется лоренцевым сокращением. Здесь конечно же свойственно задаться вопросом, а можем ли мы непосредственно наблюдать лоренцево сокращение, скажем, наблюдая или фотографируя быстро движущееся тело? (пример приведен в [1], рассмотрим его более подробно). Если считать, что глаз или фотопластинка фиксирует мгновенное изображение, создаваемое светом, то это изображение создается лучами, идущими от разных участков тела, которым мы интересуемся, и приходящими одновременно на сетчатку глаза или фотопленку. Но если оптические пути света, идущие от различных точек наблюдаемого тела, различные, то на фотопластинке будут зафиксированы уже положения точек тела в разные моменты времени, т.е. предыдущие по отношению к моменту фотографирования. Весь эффект обусловлен конечностью скорости света.

Допустим, что светящийся куб, движущийся вдоль прямой, параллельной одной из его граней, пролетает мимо фотоаппарата (или наблюдателя). Фотографирование или наблюдение производится в тот момент, когда центр куба попадает на нормаль, опущенную из точки. Где находится фотоаппарат, на направление движения.

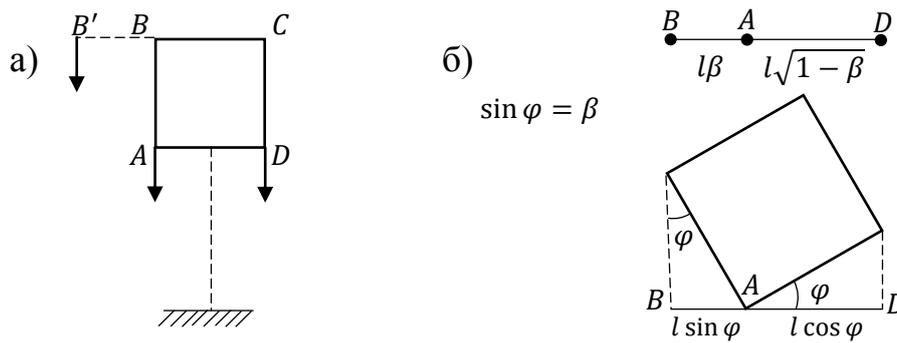


Рис.11

В определенный момент времени к фотопластинке придут все фотоны, испущенные одновременно в системе фотопластинки на линии  $AD$ , и фотоны, испущенные точкой  $B$  раньше на интервал времени  $l/c$  ( $l$ -длина ребра куба). Но в данный момент времени точка  $B$  находилась в положении  $B'$ . Одновременное определение положения точек  $A$  и  $D$  в системе фотопластинки ведет, согласно обычному правилу измерения **длины**, к **лоренцевому** сокращению:

$$l = l\sqrt{1 - \beta^2}.$$

С другой стороны,

$$BB' = \left(\frac{l}{c}\right) v = \beta l.$$

Несложно понять, что картинка, которую увидел бы неподвижный наблюдатель при наблюдении движущегося куба, совпадала с той, когда рассматривается неподвижный, но повернутый на некоторый угол  $\varphi$  куб. Этот угол определяется соотношением  $\sin \varphi = \beta$ . Это все есть частный случай более общего результата: всякое трехмерное движущееся тело видно в данный момент времени повернутым. Для куба можно доказать, что данный поворот является кажущимся, достаточно просто сфотографировать его с другой стороны. Сравнивая с предыдущими снимками, мы увидим две различные оси вращения куба, что и решает вопрос: поворачивается или сокращается на самом деле данное тело? Только в середине 50-х годов XX века, возникло понимание того, что фотографирование быстро движущегося тела (объекта) и измерение **длины** данного тела по Эйнштейну, есть не совсем одно и **то же**. Другими словами, в первом методе мы фиксируем фотоны света, испущенные объектом, одновременно пришедшие на фотопластину (смотри выше), а во втором случае мы фиксируем фотоны испущенные в одно **и то же** время.

Теперь ясно, что для экспериментального обнаружения лоренцова сокращения необходимо фотографировать тела, не имеющие «толщины», например, стержень, у которого длина во много раз превосходит его толщину, или тонкий диск. Тогда кажущийся поворот будет совпадать с лоренцевым сокращением.

Из преобразований Лоренца вытекает не только сокращение длины тел, но и замедление хода движущихся часов, т.е. увеличение промежутков времени, отсчитываемых движением стрелки вокруг циферблата. Допустим, что  $t_1$ - время, отмеченное определенным положением стрелки неподвижных часов, а  $t_2$ - время, отмеченное положением стрелки после полного оборота. Время, которое прошло за данный оборот, мы примем за единицу времени:

$$t_2 - t_1 = 1.$$

Ну а теперь перейдем к инерциальной системе  $K'$  и посмотрим каково будет время  $t'_2 - t'_1$  оборота стрелки в этой системе, движущейся, как нам уже известно, относительно системы  $K$ . Преобразование Лоренца  $t \rightarrow t'$  дает следующее выражение для  $t'_1$  и  $t'_2 = t'_1 + 1$ :

$$t'_1 = \frac{t_1 - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad t'_2 = \frac{t_2 - \frac{v}{c^2}x + 1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Поэтому

$$t'_2 - t'_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

По сравнению с неподвижными движущиеся часы идут в  $\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$  раз медленней (интервал времени увеличивается), их стрелки совершают полный оборот в течении большего промежутка времени, чем стрелки неподвижных часов. Можно сказать, что происходит эффект замедления времени (см. [17]), приводящий к так называемому парадоксу часов или как его еще называют парадоксу близнецов (подробнее см. [18]). Зачастую данный парадокс рассматривается на примере частиц, долетающих до Земли из космоса, хотя их «время жизни» недостаточно для преодоления такого расстояния. Данные нестабильные частицы называются мюонами.

## Глава II

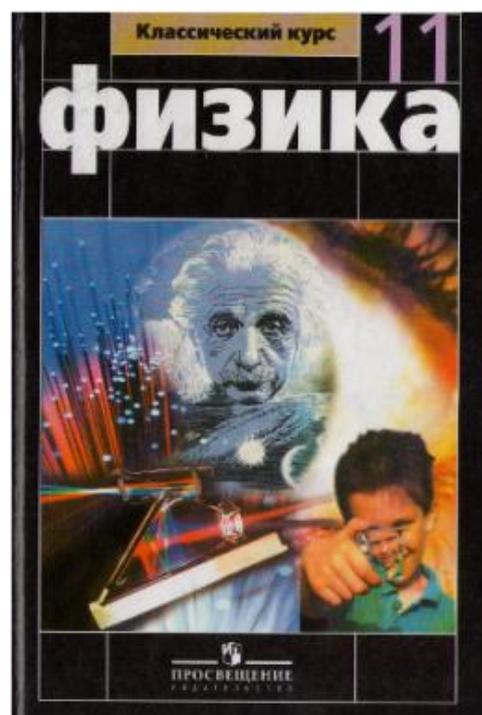
Изложение СТО в школьном курсе физики и связанные с этим заблуждения

Возвращаясь к существующему курсу физики в средней школе, следует отметить, что именно упомянутые выше вопросы (**затронутые в Главе I**) не находят должного изложения и интерпретации в школьных учебниках. Это безусловно приводит к некоторым непониманиям и заблуждениям при дальнейшем изучении физики. Ученики, в большинстве своем случаев, с полной уверенностью опираются, на как уже выяснилось, неправдивые теоретические знания, о чем они, **конечно даже** и не подозревают. Все это в дальнейшем счете приводит к серьезным заблуждениям, и достаточно большой потере времени: будь то самостоятельное изучение специальной теории относительности или изучение под руководством своего преподавателя. Как уже можно предположить, в данной главе будут рассмотрены и проанализированы (посредством сравнения) в частном порядке вопросы, приводящие к таким удручающим последствиям.

### 1. Краткий обзор анализируемых учебников

В этой главе для проведения сравнительного анализа и выявления ряда заблуждений при изложении СТО в школьном курсе физике, безусловно, потребуются школьные учебники по данной области исследования. При предварительном анализе, просмотрев большинство учебников по физике старшего звена, школьной системы образования. Прослеживалась отчетливая последовательность допущенных неточностей и пробелов при изложении СТО. В связи с чем, в качестве примеров для подробного анализа, были взяты учебники с ярко выраженными интересующими нас недочетами.

Первым пособием для сравнительного анализа стал учебник физики для общеобразовательных учреждений, базового и профильного уровня, таких авторов как: Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чагурин. Под редакцией профессора В.И. Николаева и профессора Н.А. Парфентьевой, несомненно



рекомендованный Министерством образования и науки Российской Федерации семнадцатилетнее издание, переработанное и дополненное, Москва «Просвещение» 2008 г. Во взятом нами учебнике фундаментальные вопросы школьной программы изложены на более современном уровне, представлены основополагающие технические применения законов физики, рассмотрены методы решения задач. Учебник предназначен для учащихся физико-математических классов и школ, лекционной аудитории и преподавателям подготовительных отделений вузов, а также читателям, проходящим подготовку к поступлению в ВУЗ и занимающимся самообразованием.

В данном учебнике нам интересен только тот материал, который непосредственно связан с истолкованием специальной теории относительности, а также его логическая структура и уровень доступности для понимания. Для этого представим только ту часть оглавления, которая включает в себя вопросы, связанные с изложением СТО.

Глава 9. Элементы теории относительности.

§ 75. Законы электродинамики и принцип относительности.

§ 76. Постулаты теории относительности.

§ 77. Относительность одновременности.

§ 78. Основные следствия из постулатов теории относительности.

§ 79. Элементы релятивистской динамики.

Упражнение 11.

Краткие итоги главы 9. [9].

Обращаясь к оглавлению, взятого нами пособия, можно сразу же проследить логику изложения теоретического материала. Не вдаваясь в подробности данного анализа перейдем ко второму пособию. Данный учебник, а точнее его первая часть, предназначенная для учащихся общеобразовательных организаций (базовый и углубленный уровни) авторов Л.Э. Генденштейн, Ю.И. Дик, под редакцией В.А. Орлова, Московского издательства Мнемозина, 2014 г. Начнем с просмотра оглавления:

## ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

### Глава 7. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

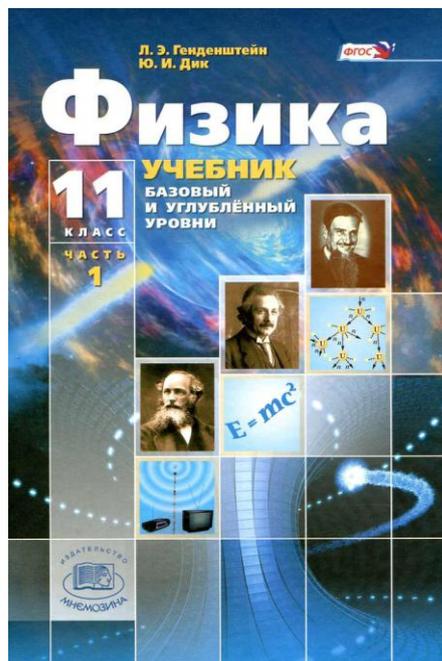
#### § 26. Основные положения специальной теории относительности 0

1. Принцип относительности Галилея
2. Справедлив ли принцип относительности для электромагнитных явлений
3. Основные положения специальной теории относительности

#### § 27. Некоторые следствия специальной теории относительности

1. Относительность одновременности
2. Относительность промежутков времени
3. Энергия тела
4. Отменяет ли теория относительности классическую механику? [10].

В учебнике Л.Э. Гендельштейна, по мимо теории относительности, рассмотрены основы электродинамики, оптики, атомной физики и астрофизики. Четкая логика изложения материала, заложенная в структуру учебника, способствует более легкому восприятию учебного материала. В данном пособии приведено различное множество примеров проявления и применения физических законов в реальной жизни, сведений связанных с историей физических открытий, так же имеется иллюстрированное истолкование физических опытов.



#### 2. Постулаты СТО в школьном курсе физики

**Начнем с того**, что бросается в глаза с самого **начала и того**, что ставится на первое место, а точнее на чем в большей степени заострится внимание преподавателями средних общеобразовательных школ. В первую очередь рассматриваются постулаты СТО – незыблемая и неотъемлемая часть данной теории, это – знание на котором делается особый акцент. Данные постулаты являются фундаментом, на котором строится вся теория относительности. Прочитав любой без исключения школьный учебник физики, в котором находится глава содержащая вопросы СТО, мы

безусловно наткнемся на изложение постулатов этой теории. И как мы уже упоминали выше, в большинстве из них данная теория изложена не корректно, в частности, второй постулат СТО фактически сформулирован в учебниках как следствие двух постулатов **Эйнштейна**.

Возьмем к примеру учебник физики для общеобразовательных учреждений автора Г.Я. Мякишев. В данном учебнике имеется глава «Элементы теории относительности» начинающаяся на странице двести двадцать пять. В данной главе имеется целый параграф посвящённый постулатам СТО, и носящий аналогичное название «Постулаты теории относительности», начинающийся на странице двести двадцать девять под номером семьдесят шесть. В данном параграфе второй постулат сформулирован в такой форме: «Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника светового сигнала» [9]. На первый взгляд в данной интерпретации все правильно, логично и без нарушения каких либо законов физики. Но на самом деле второй постулат звучит совсем иначе, его правильная интерпретация представлена в первой главе данной работы, а представленное выражение выше на наш взгляд является следствием вытекающее из первого и второго постулата СТО.

Бесспорно, прослеживаются и сходства между вторым постулатом и представленным выражением в данном учебнике физики, поэтому для полного фиаско представляем вашему вниманию второй учебник автора Л.Э. Гендельштейн. В седьмой главе «Элементы теории относительности», описанной в данном учебнике, параграфе двадцать шесть «Основные положения специальной теории относительности», на странице двести шестнадцать, изложены постулаты специальной теории относительности. Нас, конечно же, интересует интерпретация второго постулата, **поэтому** цитируем: «Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета» [10]. Данная форма изложения, не имеет не каких сходств с истинным постулатом. В большинстве случаев именно в такой форме, второй постулат, излагается в школьных учебниках физики, что является безусловным заблуждением.

**Если принять изложенное в выше приведенных учебниках за истинный второй постулат, то тогда зачем нужна формулировка этого постулата в изложении Эйнштейна? Ведь Эйнштейн сформулировал свой второй постулат для частного случая в одной ИСО, а только первый постулат (обобщенный принцип относительности Галилея) позволяет получить приведенную в большинстве школьных учебников и изложенную выше формулировку следствия этих постулатов, принимаемого за второй постулат.**

### 3. Сложение скоростей в школьном курсе физики

Перейдем к рассмотрению следующего аспекта СТО, излагаемого в школьных учебника физики, а если говорить точнее, не изложенного в школьном курсе. В теории относительности есть небольшой, но очень важный раздел, касающийся сложения скоростей. В данном разделе встает вопрос о справедливости и возможности использования классических представлений о данной физической области. В общем здесь мы выясняем что классическое представление о сложении скоростей не подходит, и вводим новые. Заметьте новые способы, или как их еще называют правила, а в СТО их два, это правило параллелограмма и правило Эйнштейна.

В школьных учебниках в вопросе о сложении скоростей присутствует явное заблуждение, касающееся существования только одного способа сложения скоростей (по Эйнштейну). О втором способе нет ни малейшего упоминания, не в одном из школьных учебников физики, его подробное описание можно посмотреть, например, у Мандельштама [5].

Рассмотрим уже знакомые нам учебники по физики Л.Э. Генденштейн и Г.Я. Мякишев (см. выше). В первом из них не то чтобы умолчали о втором способе, в нем совсем не рассматривается вопрос о сложении скоростей. Во втором учебнике излагается только один способ сложения скоростей, но про правило параллелограмма нет не единого слова. Наверняка данный исход связан с тем, что правило параллелограмма не коем образом не связано с принципом относительности. Это верно, ведь все рассуждения по выводу данного правила проводятся в одной и той же системе инерциальной отсчета, в которой и измеряются суммируемые скорости. Но данное положение дел не дает право исключать данное правило из специальной теории относительности.

### 4. Следствия из преобразования Лоренца в школьном курсе физики

Проанализируем еще одну немаловажную тему теории относительности, касающуюся преобразований Лоренца, а точнее следствий, вытекающих из данных преобразований. И в одном, и в другом учебнике, взятых нами для анализа, рассматривается такое следствие как, относительность промежутков времени в последствие затрагивающее такой эффект как, замедление времени приводящий к так называемому парадоксу часов или как его еще называют, парадоксу близнецов. Оно рассматривается как следствие вытекающее из постулатов СТО, что конечно же является в какой-то степени верно, но при этом данная логика затрудняет вывод формулы показывающая относительность промежутков времени. В следствие чего данная формула преподносится как очевидное. Да, это бесспорно

очевидное для того, кто знаком с постулатами СТО, и конечно же с преобразованиями Лоренца, но не для тех, кто не имеет ни малейшего представления об этих преобразованиях. Поэтому на наш взгляд будет более правильным, в первую очередь, дать хотя бы малейшее представление о преобразованиях Лоренца, прежде чем вводить следствия, вытекающие из них, на первый взгляд кажущимися такими очевидными.

Не будем далеко отходить от этой темы и перейдем к рассмотрению еще одного следствия, которое, как и описанное выше, рассматривается без каких-то либо обоснований. Это следствие описывает относительность расстояний, влекущее за собой релятивистское сокращение размеров движущегося тела. Несложно догадаться чем обусловлено такое не «обоснованное» объяснение данного следствия (см. выше). Но здесь уже возникает проблема не сколько в корректности изложения, а в его наличие. Если быть **точными**, то следствие, касающееся относительности расстояний, описано только в одном из взятых нами для анализа учебников. Это учебник под авторством Г.Я. Мякишева. **В учебнике Л.Э. Генденштейна** нет ни малейшего упоминания о данном следствии, хотя оно играет **немаловажную** роль в становлении естественно-научного мировоззрения. Но и это еще не все, **так как** при изучении данного следствия возникает абсолютно логичный вопрос, а можно ли на опыте пронаблюдать данное сокращение? Ответ на этот вопрос не описан не в одном школьном учебнике по физике, хотя он лежит «на поверхности». Рассмотрение данного вопроса влечет за собой теорию о форме движущихся тел, которая вообще не затрагивается, хотя она вошла бы в рассмотрение быстрого движения тел с точки зрения **процедуры** фотографирования. **Сегодня можно было бы создать видеофильм, иллюстрирующий данное явление.**

## 5. Принцип относительности и преобразование Галилея в школьном курсе физики

Проводя предварительный анализ на предмет обнаружения заблуждений и недосказанности, в большинстве школьных учебников физики, мы столкнулись с таким феноменом, как совершенно новое представление о принципах относительности. Конечно же такой феномен прослеживался не во всех учебниках, но его наличие не могло не привлечь нашего внимания. Также изложение **данного раздела** не обошли стороной и уже знакомые нам проблемы, связанные с некоторого рода заблуждениями и недосказанностью, к одной из которых относится и наш феномен.

В многих учебниках школьного курса физики, описывается принцип относительности Галилея, что является совершенно логично, ведь данный принцип ложится в основу первого постулата СТО, предложенного

Эйнштейном. Принцип относительности влечет за собой и рассмотрение преобразований Галилея, которые в свою очередь, являются одними из важных компонентов при выводе преобразований Лоренца и их физической интерпретации. Во тут то и возникает вопрос, а являются ли преобразования Галилея, такими же справедливыми, как и преобразования Лоренца для релятивистских движений? Во всех без исключения школьных учебниках физики пишется, что преобразования Галилея справедливы только для классической механики малых скоростей (по сравнению со скоростью света), что является заблуждением. Обоснование данного вопроса описано в первой главе. Наш мир так устроен, что в нем наблюдается локальная ортогональность трехмерного пространства и времени. Преобразования Галилея этот факт не отражают, так как не учитывают конечности скорости света. Поэтому ортогонализация этих преобразований, которая не затрагивает физику явлений, приводит к преобразованиям, которые естественным образом учитывают факт ортогонализации трехмерного пространства и времени. Этими новыми преобразованиями и оказываются преобразования Лоренца.

Возвращаясь к проблеме недосказанности в школьном курсе физики, потрясает воображение тот факт, что в некоторых учебниках совершенно отсутствует информация о принципах относительности Галилея. В ходе изучения учебника по физике Г.Я. Мякишева, возникает представление, что первый постулат СТО был выведен лишь благодаря трудам одного великого физика, которым является Альберт Эйнштейн. О том, что в основе данного постулата лежит принцип относительности Галилея, который в свое время Эйнштейн распространил на всю физику, нет ни малейшего упоминания.

## **Заключение**

Наука в ходе своего исторического развития все более точно демонстрирует независимость физических соотношений, указывающих на объективные закономерности окружающего нас мира, от разницы в методах измерения физических величин. В этом проявляется самостоятельность объекта познания от способов и вариантов достижения познания. Именно в этом заключается изначальная идея теории относительности. Ее истинный смысл определяется в демонстрации объективности мира, в закреплении, усовершенствовании и конкретизации представления о мире как о движущейся материи.

Как известно специальная теория относительности существенна в тех местах, где появляются скорости, сопоставимые со скоростью света, такие области науки зачастую называют релятивистской механикой. Такая наука как

физика, а точнее современная физика имеет хорошую тенденцию и скорость развития, и факты, указывающие на подлинность выводов, следующих из релятивистской механики не заставили ждать. Данная механика уже с давних времен считается наукой инженерии, а основанные на этой науке проекты великолепно демонстрируют себя в работе: это ядерные реакторы и ускорители элементарных частиц. Безусловная заслуга СТО, заключается не только во вкладе в физику, но и в мировоззрение. Благодаря теории относительности человечество смогло сделать огромный шаг в понимании пространства и времени.

Из всего выше сказанного логично сделать вывод, что СТО несет огромный и ценный вклад в образованность и становлении как личности, так и человечества в целом. А все начинается со школы. Поэтому в данной работе был проведен анализ, изложенных в школьных учебниках вопросов, связанных со специальной теории относительности. Данный анализ сопровождался изложением общепринятых и устоявшихся физических понятий СТО в научной литературе и их сравнением с изложением аналогичных вопросов в учебниках средней школы по физике.

Проведенное исследование показало, что значительная часть понятий СТО в школьных учебниках излагается либо неверно, либо вообще не упоминаются. Данное положение дел, в достаточно полной мере отражено во второй главе. Так же, была выявлена и проведена параллель ошибок и заблуждений в исследуемой области, связывающая учебники школьного курса физики. Это позволило выявить самые проблемные области в изложении школьного курса СТО. Так же это предоставило возможность не ссылаться на каждый анализируемый нами учебник, а рассмотреть в качестве примера лишь учебники с выраженными в полной мере интересующими нас проблемами. Как известно все учебники, предназначенные для средних школ общего образования, проходят строжайший контроль. В ходе данных проверок выявляется внушительное количество ошибок, опечаток, и заблуждений, что в конечном счете приводит к исправлениям, данных оплошностей, при следующем тираже. И даже несмотря на данные проверки, часть физических понятий, обретают многолетние заблуждения, перекочевывая из учебника в учебник, из года в год. Поэтому одной из важных задач на сегодня в области школьной физики– это переосмысление достигнутого в науке и изложенного на уровне школьного курса физики без ошибок, вводящих учащихся в заблуждения.

## Литература

1. Баранов А.М. Основы теории относительности и гравитации: Математическое введение. Учеб. Пособие/ Краснояр. ун – т. Красноярск, 1987. 91 с.
2. Пеннер Д.И., Угаров В.А. Электродинамика и специальная теория относительности: Учеб. Пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1980. – 271 с. : ил.
3. Кузнецов Б.Г. Беседы о теории относительности М.: Издательство АН СССР, 1960.
4. Либшер Д.Э. Теория относительности с циркулем и линейкой. М.: мир, 1980.
5. Манделъштам Л.И. Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. М.: Наука, 1972.
6. Сэже Э. Современная физика. С. – Петербург, 1883.
7. Гарднер М. Теория относительности для миллионов. М.: Атомиздат, 1979.
8. Бублейников Ф.Д. Галилео Галилей. М.: Просвещение, 1964.
9. Мякишев Г.Я. Физика. 11 класс: учеб. Для общеобразовательных учреждений : базовый и профил. Уровни. М: Просвещение, 2008. – 399 с. : ил.
10. Генденштейн Л.Э. Физика. 11 класс. В 2 ч. Ч. 1 : учебник для учащихся общеобразовательных организаций (базовый и углубленный уровни). М.: Мнемозина, 2014. – 384 с. : ил.
11. Сиама Д. Физические принципы общей теории относительности. М.: Мир, 1971.
12. Аристотель. Физика. Соч. М.: Мысль, 1981. Т.3.
13. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М.: Наука, 1965-1966. Т.1-4.
14. Фридман А.А. Мир как пространство и время. М.: Наука, 1965.
15. Фок В.А. Теория пространства, времени и тяготения. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1961.
16. Паули В. Теория относительности. М.: Мир, 1974.
17. Гольденблат И.И. Парадоксы времени в релятивистской механике. М.: Наука, 1972.
18. Скобельцын Д.В. Парадокс близнецов в теории относительности. М.: Наука, 1972.
19. Петров А.З. Новые методы в общей теории относительности. М.: Наука, 1966.
20. Мицкевич Н.В. Физические поля в общей теории относительности. М. Наука, 1969.