Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана"

Методические указания к лабораторной работе

Визуализация эффектов специальной теории относительности

Киктенко Е.О. Кашников А.В.

Москва 2018

Цель работы: получить представление об основных эффектах специальной теории относительности.

1 Теоретическая часть

1.1 Системы отсчета и синхронизация часов

Важнейшим понятием, необходимыми для изучения специальной теории относительности (СТО) является *система отсчета* (СО). Под СО мы будем понимать совокупность следующих объектов:

1) тела отсчета;

2) координатной системы, связанной с телом отсчета;

3) множества настоящих или воображаемых часов, располагающихся во всех точках пространства, неподвижных с точки зрения данной системы координат, и *синхронизированных* между собой.

Рассмотрим эти понятия более подробно. Итак, введем некоторое тело отсчета, к которому привяжем оси декартовой системы координат $OXYZ$. Теперь для того, чтобы измерить положение некоторой неподвижной точки, т.е. получить вектор её координат $\vec{r} = \{x, y, z\}$), нам необходимо посмотреть сколько единичных отрезков укладывается на расстоянии от данной точки до соответствующих координатных плоскостей.

Далее рассмотрим часы, находящиеся в точке пространства $\vec{r}_0 = \{x_0, y_0, z_0\}$. Под часами мы будем понимать некоторый колебательный процесс, с постоянным периодом колебаний. Для того чтобы измерить длительность некоторого процесса (например, горения свечи), происходящего в данной точке $\vec{r}_0$, нам необходимо посмотреть сколько периодов колебаний укладывается за время данного процесса (с момента начала горения до его окончания). Таким образом, мы можем получить длительность процесса τ как

$$\tau = t_2 - t_1, \qquad (1)$$

где t_1 и t_2 – количества прошедших периодов колебаний, с момента запуска часов до начала и окончания процесса соответственно.

Теперь рассмотрим вопрос о том, как измерить длительность процесса, “перемещающегося” в пространстве (например, длительность горения движущейся свечи). Пусть некоторый процесс начинается в точке $\vec{r}_1 = \{x_1, y_1, z_1\}$ и заканчивается в точке $\vec{r}_2 = \{x_2, y_2, z_2\}$. Казалось бы, чтобы узнать длительность процесса, мы можем зафиксировать время начала процесса t_1 по часам, находящимся в точке $\vec{r}_1$, а когда процесс дойдет до точки $\vec{r}_2$, мы можем *посмотреть* на часы, находящиеся в точке $\vec{r}_1$, зафиксировать их показание t_2 и посчитать длительность процесса по формуле (1). Однако, показания часов, находящихся в точке $\vec{r}_0$, с точки точки $\vec{r}_1$ будут *отстающими*, т.к. свету требуется время, чтобы преодолеть расстояние между точками $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$. Для того, чтобы учесть эту поправку нам необходимо либо знать скорость света, либо заранее установить часы в точке $\vec{r}_2$ и *синхронизировать* их с часами в точке $\vec{r}_1$.

Для синхронизации часов мы можем воспользоваться следующим приёмом: расположим в точке $\vec{r}_c = (\vec{r}_1 + \vec{r}_2)/2$ (посередине между $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$) источник некоторого сигнала, который распространяется с одинаковой скоростью во всех направлениях (это может быть в тои числе и источник света), и запустим часы в точках $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$, как только этот сигнал дойдет до соответствующих часов. Такие часы мы будем называть *синхронизированными* с точки зрения системы координат $OXYZ$, т.к. $\vec{r}_0$, $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$ неподвижны в этой системе координат. Теперь мы можем обоснованно воспользоваться формулой (1), где t_1 и t_2 – это будут уже показания синхронизированных часов в точках $\vec{r}_1$ и $\vec{r}_2$.

Мы также можем синхронизовать часы с помощью сигнала с известной скоростью. Чтобы измерить скорость сигнала с помощью одиночных часов, необходимо пустить этот сигнал по замкнутой траектории (например, испустить импульс света, и отразить его назад с помощью зеркала), найти пройденное расстояние, и разделить это расстояние на промежуток времени между отправлением и приемом сигнала в одной и той же точке. Далее, зная скорость сигнала v, мы можем синхронизировать часы в точке $\vec{r}_2$ с часами в точке $\vec{r}_1$, испустив сигнал из точки $\vec{r}_1$ в момент времени t_1, и устанавливая время на часах в точке $\vec{r}_2$ равным

$$t_2 = t_1 + \frac{|\vec{r}_2 - \vec{r}_1|}{v} \tag{2}$$

в момент, когда сигнал дойдет до вторых часов.

Таким образом, в каждой точке пространства мы можем поставить свои собственные часы и синхронизовать их с некоторыми эталонными часами. Именно такое бесконечное множество воображаемых часов совместно с системой координат, привязанной к некоторому телу отсчета, называется СО.

1.2 Преобразования Галилея

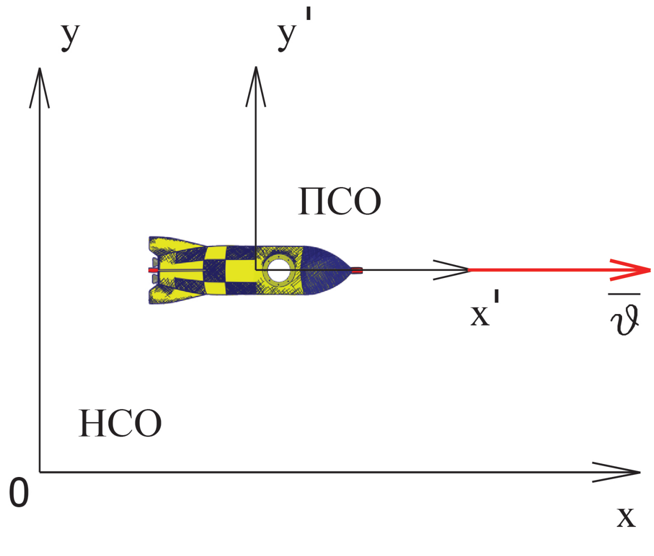

Рис. 1: Преобразования галилея.

Особое место среди всех возможных СО занимают *инерциальные* СО (ИСО), т.е. такие СО, в которых выполняются законы Ньютона. Как известно СО, движущаяся равномерно и прямолинейно относительно некоторой ИСО, также является ИСО.

Рассмотрим две ИСО K и K', такие что оси координат этих двух ИСО параллельны, и K' движется относительно K вдоль оси OX со скорость ϑ. Пусть с ИСО K и K' связаны системы синхронизированных часов, таким образом, в тот момент, когда начала отсчета K и K' совпадают, то показания часов, располагающиеся в началах отсчета, равны 0 ($t = 0$ и $t' = 0$)..

Пусть некоторое событие произошло в точке $\{x, y, z\}$ в момент времени t относительно ИСО K. Логично заключить, что относительно ИСО K' это событие произошло в точке $\{x', y', z'\}$ в момент времени t', так что координаты в K' которые связаны с координатами в K следующими соотношениями, называемыми *преобразованиями Галилея*:

$$\begin{cases} x' = x - \vartheta t; \\ y' = y; \\ z' = z; \\ t' = t. \end{cases} \tag{3}$$

Для обратного перехода от K' к K путем замены ϑ на $-\vartheta$ получаем:

$$\begin{cases} x = x' + \vartheta t; \\ y = y'; \\ z = z'; \\ t = t'. \end{cases} \tag{4}$$

В основе преобразований Галилея лежит представление о том, что время в K и K' течет одинаково ($t = t'$). Как мы увидим дальше, это предположение справедливо только при скоростях ϑ гораздо меньших скорости света c.

1.3 Преобразования Лоренца

В процессе развития теории, описывающей поведение электромагнитных явлений, был обнаружен занимательный факт: фундаментальные уравнения электродинамики (уравнения Максвелла), *не инвариантны* относительно преобразований Галлилея (3). Это означает, что законы Природы зависели бы от ИСО, с точки зрения который мы их описываем. Данное утверждение в корне противоречит общим представления, об эквивалентности всех ИСО.

С другой стороны, было показано, что для того чтобы уравнение Максвелла оставались инвариантными при переходе от одной ИСО к другой, преобразования координат и времени должны иметь вид

$$\begin{cases} x' = \frac{x - \vartheta t}{\gamma}; \\ y' = y; \\ z' = z \\ t' = \frac{t - x\vartheta/c^2}{\gamma}. \end{cases} \tag{5}$$

Где приняты следующие обозначения

$$\beta := \vartheta/c; \quad \gamma := \sqrt{1 - \beta^2}, \quad c = 299\ 792\ 458 \approx 3 \cdot 10^8 \text{м/с}, \tag{6}$$

где c – скорость распространениея электромагнитных волн в вакууме.

Преобразования (5) называют *преобразованиями Лоренца*. Можно убедиться, что при скоростях ϑ гораздо меньших скорости света ($\beta \ll 1$) преобразования (5) переходят в (3).

Как показали многочисленные эксперименты, при скоростях сравнимых со скоростью света, справедливы именно преобразования Лоренца. Фундаментальным явлением, лежащим в основе данных преобразований, является *постоянство скорости света во всех ИСО*. Это приводят к набору контр-интуитивных следствий, которые мы рассмотрим далее.

Контрольный вопрос №1. Выведете преобразования Лоренца, связывающие координаты в ИСО K с координатами в ИСО K'.

1.4 Следствия преобразований Лоренца

1.4.1 Релятивисткое сокращение размеров

Под длиной движущегося отрезка в некоторой ИСО будем понимать разность координат начала и конца этого отрезка, измеренных в один и тот же момент времени с точки зрения данной ИСО.

Рассмотрим отрезок с неподвижными концами в точках $x'_1 = 0, x'_2 = l'$ относительно системы отсчета K'. Очевидно, что длина этого отрезка в ИСО K' будет равна $x'_2 - x'_1 = l'$. Теперь выпишем зависимость координат этого отрезка от времени с точки зрения ИСО K. Для того, чтобы получить длину отрезка в этой ИСО, рассмотрим координаты точек 1 и 2, в некоторый момент времени t. Подставляя значения $x'_1 = 0$ и $x'_2 = l'$ в уравнение

$$x' = \frac{x - \vartheta t}{\gamma}, \tag{7}$$

получаем

$$0 = \frac{x_1 - \vartheta t}{\gamma}, \quad l' = \frac{x_2 - \vartheta t}{\gamma}. \tag{8}$$

Далее, вычитая одно из другого получаем

$$l' = \frac{l}{\gamma}, \tag{9}$$

где $l = x_2 - x_1$.

Таким образом, длина отрезка в ИСО K будет меньше его длины относительно K'.

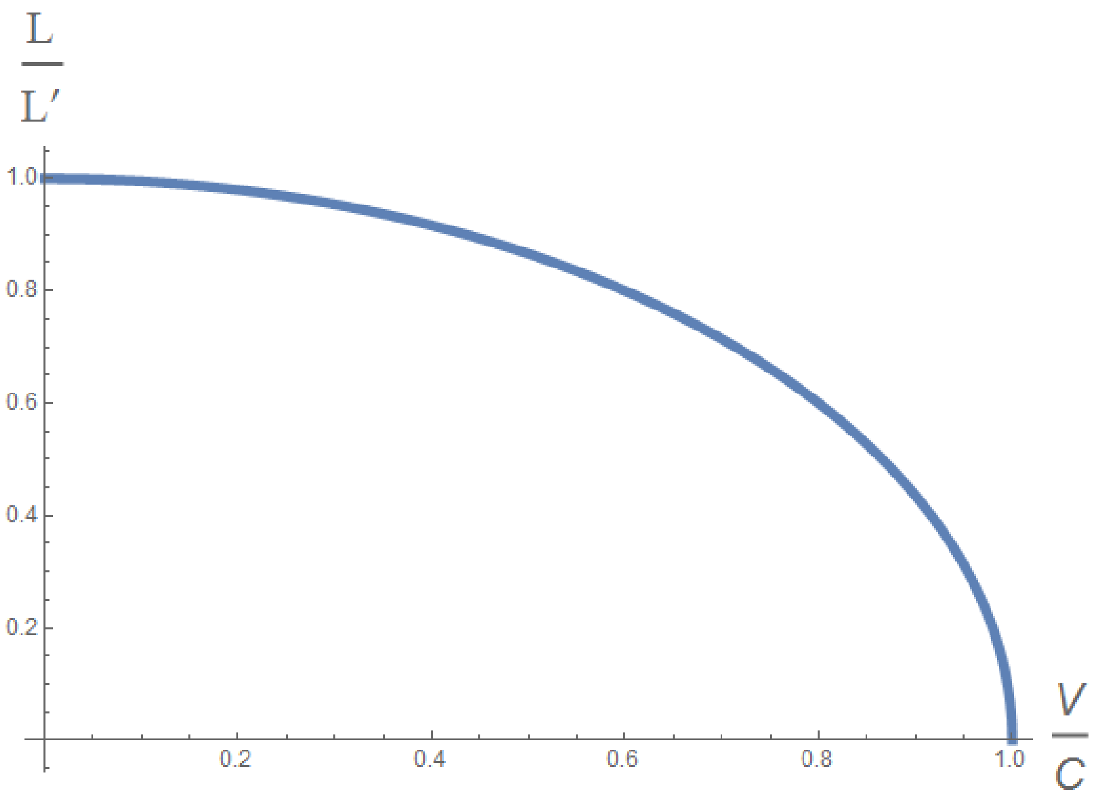

Рис. 2: Зависимость длины от коэффициента γ

Контрольный вопрос №2. Вычислите скорость, при которой длина отрезка сократится а) на 1%;

б) в 2 раза.

1.4.2 Релятивисткое замедление

Рассмотрим два события, происходящие с точки зрения ИСО K' в точке $x' = 0$ в моменты времени $t'_1 = 0$ и $t'_2 = \tau'$.

Пользуясь уравнением

$$t = \frac{t' + \vartheta x'/c^2}{\gamma} \tag{10}$$

получаем

$$t_1 = \frac{t'_1}{\gamma}, \quad t_2 = \frac{t'_2}{\gamma}. \tag{11}$$

Далее, вычитая одно из другого, получаем

$$\tau = \frac{\tau'}{\gamma}, \tag{12}$$

где $\tau := t_2 - t_1$. Таким образом, длительность процесса в ИСО K' больше, чем в ИСО K. Данное явление носит название релятивистского замедления времени.

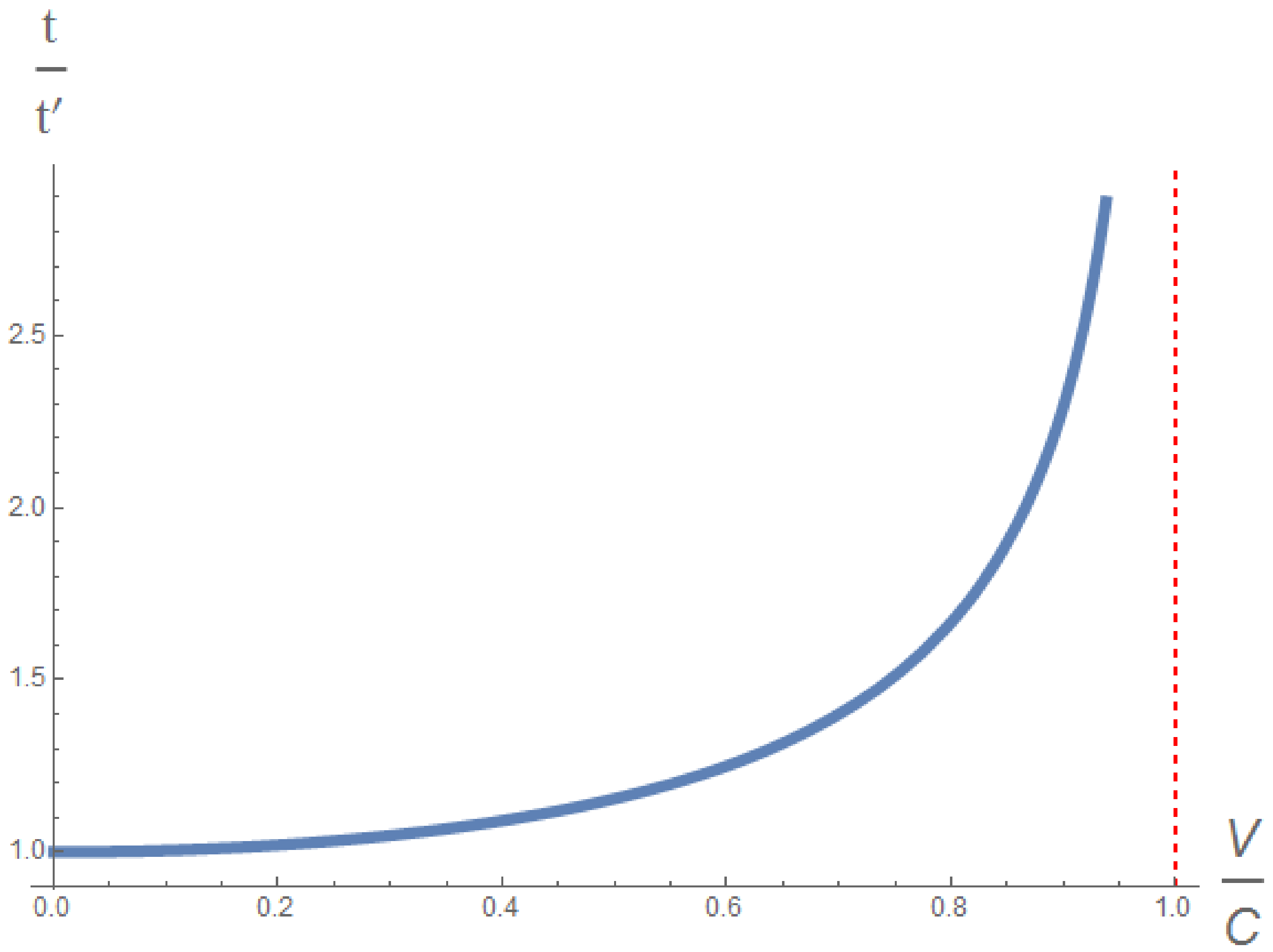

Рис. 3: Зависимость времени от коэффициента γ

Контрольный вопрос №2. Какой промежуток времени τ' проходит между излучением и поглощением фотона в его собственной ИСО (ИСО, движущейся вместе с фотоном со скоростью света c).

1.4.3 Относительность времени

Представьте что вы находитесь в движущемся вагоне. Передняя и задняя двери вагона открываются автоматически по световому сигналу. Источник света располагается ровно по центру вагона. Какая дверь откроется первой? С точки зрения пассажира поезда двери откроются одновременно. А с точки зрения дачника находящегося на платформе?

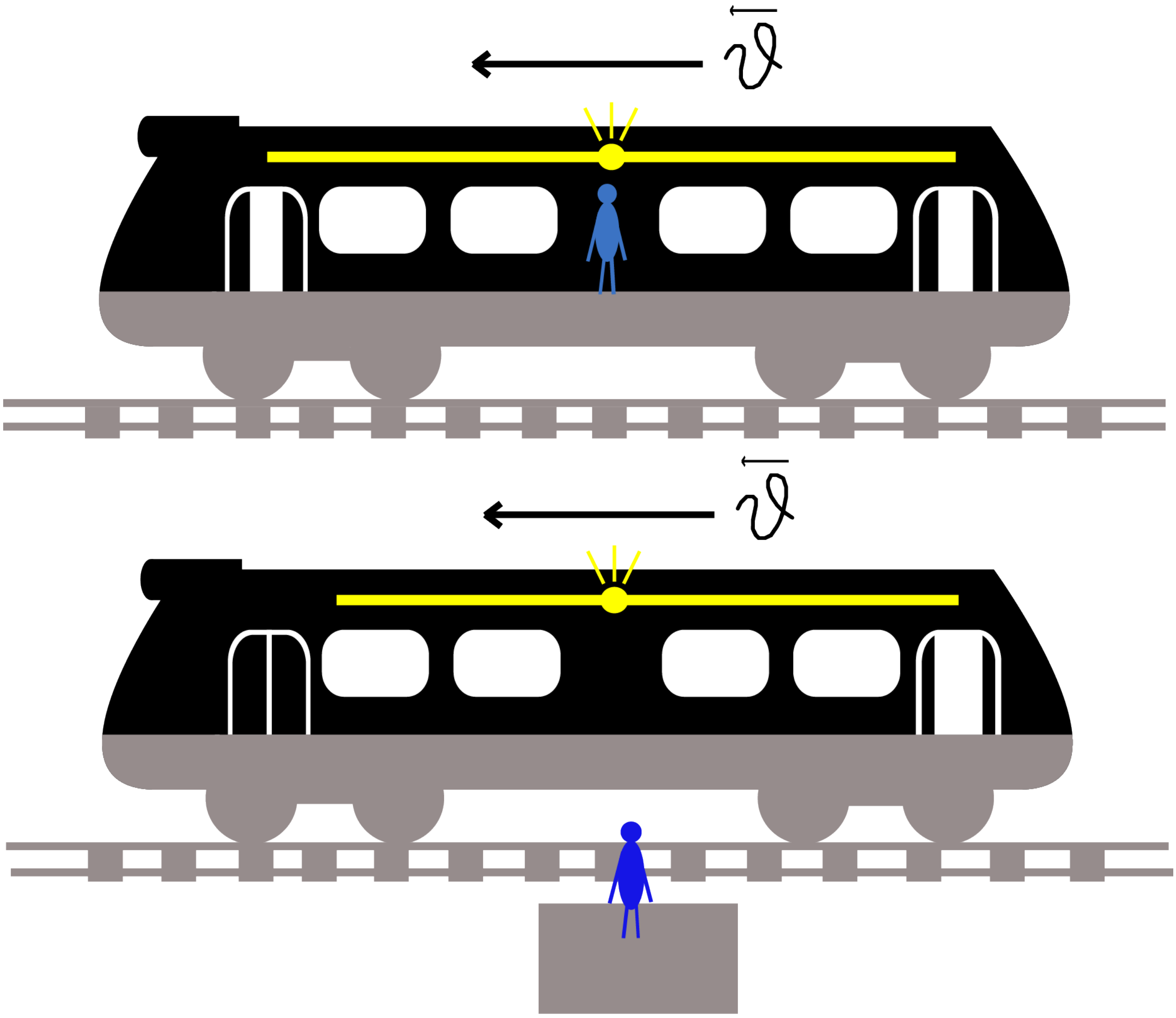

Рис. 4: Относительность времени в разных СО.

Скорость света не зависит от скорости поезда. Значит для дачника как и для пассажира, оба луча идут с одинаковой скоростью. Но передняя дверь уходит от света, а задняя дверь движется на встречу лучу, а значит первой откроется задняя дверь. Выходит события ,одновременные в одной системе отсчета, могут быть неодновременными в другой. Так как скорость света одинакова, но лучи проходят разное расстояние, следует вывод о том, что время в поезде и на платформе течет по-разному.

2 Практическая часть

2.1 Моделируемая система

Рассмотрим систему, состоящую из двух ИСО, представленную на Рис. 5. Первая ИСО (K) связана с «поверхностью земли», на которой расставлены синхронизированные друг с другом часы на расстоянии L друг от друга.

Вторая ИСО (K') связана с ракетой, которая равномерно перемещается со скорость ϑ относительно земли. Длина ракеты в состоянии покоя (внутри K') равна L, начало координат совпадает с центром ракеты.

На ракете установлено трое часов (на хвосте, центре и носу), обозначенные буквами A, B и C. Все трое часов синхронизированы между собой с точки зрения ИСО K', связанной с ракетой). Часы на ракете и на земле запускаются таким образом, что в момент $t = t' = 0$ (с точки зрения обеих систем отсчета) часы B на ракете находятся точно над часами №1 на земле.

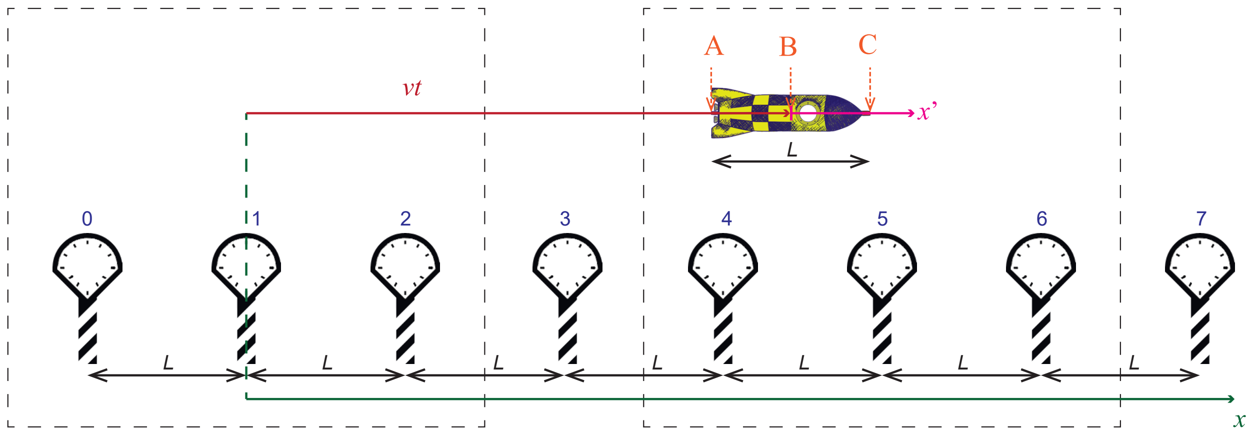

Рис. 5: Моделируемая система.

Рассмотрим рассчет параметров с точки зрения ИСО K. Выпишем преобразования Лоренца (координаты y и z опущены за ненадобностью):

$$\begin{cases} x' = \frac{x - \vartheta t}{\gamma}; \\ t' = \frac{t - x\vartheta/c^2}{\gamma}. \end{cases} \tag{13}$$

Напомним, что x и x' – это координаты некоторого точечного события в ИСО K и K', а t и t' – момент времени, когда это событие произошло с точки зрения ИСО K и K' соответственно.

Будем рассматривать движение часов A, B и C. С точки зрения ИСО K' координаты часов соответственно равны

$$x'_A = -\frac{L}{2}, \quad x'_B = 0, \quad x'_C = \frac{L}{2}. \tag{14}$$

Подставляя эти координаты в первое уравнение системы (13), получаем

$$x_A = -\frac{L}{2}\gamma + \vartheta t, \quad x_B = \vartheta t, \quad x_C = \frac{L}{2}\gamma + \vartheta t. \tag{15}$$

Отметим, что мы вновь пришли к эффекту релятивистского сокращения размеров:

$$x_C - x_A = \gamma L = \gamma(x'_C - x'_A). \tag{16}$$

Теперь, рассмотрим вопрос о том, какое время будут показывать часы A, B и C с точки зрения ИСО K. Для этого необходимо подставить полученные значения координат часов x_A, x_B и x_C во втрое уравнение (13). Проведем выкладки для часов A:

$$t'_A = \frac{t - (-\frac{L}{2}\gamma + \vartheta t)\vartheta/c^2}{\gamma} = \frac{t + \frac{L}{2}\gamma\vartheta/c^2 - t\vartheta^2/c^2}{\gamma} = \\ = \frac{(1-\vartheta^2/c^2)t + \frac{L}{2}\gamma\vartheta/c^2}{\gamma} = \gamma t + \frac{L}{2}\vartheta/c^2 \tag{17}$$

(при выводе мы воспользовались определением $\gamma := \sqrt{1 - \vartheta^2/c^2}$).

Аналогичным образом можно легко получить показания на часах B и C. В итоге имеем:

$$t'_A = \gamma t + \frac{L}{2}\vartheta/c^2, \quad t'_B = \gamma t, \qquad t'_C = \gamma t - \frac{L}{2}\vartheta/c^2. \tag{18}$$

Отметим два явления, следующих из результата (18). Во-первых, имеет место замедление времени, характеризующаяся появление множителя γ. Во-вторых, часы A, B и C, идущие синхронно с точки зрения ракеты теряют синхронизации при их наблюдении с земли.

Контрольный вопрос №3. Выведите координаты столбов $\{x'_n\}$ и показания часов на них $\{t'_n\}$ с точки зрения ИСО, связанной с ракетой (время в ИСО ракеты принять равным t').

2.2 Задания по работе с программой

Задание №1.

1. Выставите скорость ракеты в районе 0.5-0.9 c.
2. Поставьте режим преобразований Галилея (Galilean transformation on).
3. Нажмите кнопку пуск.
4. Перейдите в режим преобразований Лоренца (Galilean transformation off).
5. Нажмите клавишу пауза.
6. Объясните поведение размеров в каждом из окон.

Задание №2.

1. Нажмите клавишу стоп и выставите скорость ракеты около 0.9 c.

   Введем два события: событие №1 – старт ракеты (момент, когда часы B проходят над часами №1); событие №2 – момент, когда часы B проходят над часами №2.

2. Заполните первые колонки таблиц 1 и 2 данными из верхнего и нижнего экранов программы.

Часы	Показания часов при событии №1	Показания часов при событии №2	Разность показаний часов
A			
B			
C			
0			
1			
2			

Таблица 1: События с точки зрения системы K (верхнее окно программы).

Часы	Показания часов при событии №1	Показания часов при событии №2	Разность показаний часов
A			
B			
C			
0			
1			
2			

Таблица 2: События с точки зрения системы K' (нижнее окно программы).

3. Используя клавиши ← и → сделайте так, чтобы часы B на ракете расположились на часами 2 на земле на *верхнем* экране (с точки зрения ИСО K).

4. Заполните вторую колонку таблицы №1 данными из верхнего экрана.

5. Используя клавиши ← и → сделайте так, чтобы часы B на ракете расположились на часами 2 на земле на *нижнем* экране (с точки зрения ИСО K'). Заполните вторую колонку таблицы №2 данными из нижнего экрана.

6. Вычислите разность показаний часов (заполните оставшиеся колонки таблиц 1 и 2).

7. Интерпретируйте результаты. Ответьте на вопрос: в какой ИСО (K или K') время идет медленнее?

Список литературы

[1] Иродов И. Е. Основные законы / И. Е. Иродов - 10-е изд. - М.: ВИНОМ. Лаборатория Знаний, 2010. - 309 с.: УДК 531 ББК 22.2

[2] Сергей Гаврилов. Вопросы и ответы по специальной теории относительности http://www.gptelecom.ru/Articles/srt.pdf

[3] Фейнман Р. Ф36 Дюжина лекций: шесть попроще и шесть посложнее [Электронный ресурс] / Р. Фейнман ; пер. с англ. — 6-е изд. (эл.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 318 с. : ил. ISBN 978-5-9963-2368-5

3 Ответы на некоторые популярные вопросы (для тех кому интересно)

Откуда родилась теория относительности?

Релятивистское замедление времени и сокращение длины - это математические следствия, выводимые из некоторых соглашений о координатах. Соглашения могут быть иными, координаты – другими. Например, такими, в которых длины движущихся отрезков сокращаться не будут (зато появятся другие странности).

Здесь нет особенно глубокого физического содержания, так как законы природы, разумеется, не могут зависеть от принятой системы координат.

Теория СТО до сих пор вызывает споры в среде физиков?

Нет, не вызывает. Эта теория является фундаментом современной физики. Просто лучше разбираться в теории с другого конца: с реальных проблем прежней, нерелятивистской физики, с наблюдаемых вещей:

1. поведение частиц, разогнанных до больших скоростей, отклоняется от законов Ньютона;

2. уравнения электродинамики, точно отвечающие опыту в любой конкретной лаборатории, не поддавались пересчету в координаты другой лаборатории;

3. некоторые электродинамические явления оказывались необъяснимыми;

4. не поддавались внятному толкованию опыты с распространением света в движущихся средах;

5. обнаружение факта, что взаимодействия распространяются немгновенно, сделало ньютонову механику противоречивой, парадоксальной.

Эйнштейн ведь просто вывел свою теорию из постулатов?

Такое представление распространено, но ошибочно. Эйнштейну было хорошо известно, что преобразования Лоренца в электродинамике работают. Вообще физикам это было известно: за работами Лоренца и Пуанкаре следил весь мир.

Существовала идея подобрать задним числом принципы, совместимые с формулами Лоренца, но имеющие общефизическое содержание. Тем самым показать новое прочтение преобразований Лоренца: не в качестве фокуса, замазывающего прорехи в электродинамике, а как отражение фундаментальных свойств пространства-времени. Которые, касаются любых физических законов и механики в частности.

Теория относительности утверждает, что все относительно?

Многие физические величины зависят от принятой системы координат, относительны пространственные координаты точки. Скорость вряд ли можно считать свойством данного тела, скорее, она характеризует выбранную систему отсчета. Однако время в дорелятивистской физике считалось абсолютом. СТО добавила время к списку относительных величин.

Выходит, теория относительности просто расширила список величин, являющихся относительными?

В каком-то смысле наоборот выясняется, что относительные величины являются проекциями на координатные оси некоторых инвариантов, не зависящих от системы ко- ординат.То есть, эта теория ближе подходит к абсолюту, к фундаментальным свойствам ма- терии. Которые никак не могут зависеть от случайного, субъективного выбора координат.

Откуда берется относительность времени?

Все же главная особенность СТО это относительность времени. Откуда могла взяться такая идея?

Вспомните про конечную скорость распространения взаимодействий. Именно она приводит к противоречивости обычной механики. Как такое может быть?

Скорость распространения дистанционных взаимодействий конечна, значит при переходе в другую лабораторию, движущуюся относительно первоначальной, эта скорость сделается другой. И тот же самый механический опыт приведет теперь к отличающимся результатам.

Но по Ньютону такого не может быть, да и подобное никогда не наблюдалось – принцип относительности Галилея верен! Значит, либо взаимодействия мгновенны (но это опровергается опытом). Либо остается принять, как постулат, что скорость распространения взаимодействий в любой лаборатории одна и та же. Что приводит к новым парадоксам: как скорость может быть одинакова для любого наблюдателя?

Парадокс мнимый. Противоречит обыденному «здравому смыслу», но отнюдь не логике. Разумеется, из постулата следует относительность времени.

«Дистанционные взаимодействия» – это какие: электрические, магнитные, гравитационные?

В том-то и дело, что природа взаимодействия, оказывается, не важна. Механика Ньютона несовместима с полем. Если существует хотя бы одно взаимодействие, распространяющееся не мгновенно, отсюда сразу же следует, что не может существовать мгновенных взаимодействий вооб- ще. Иначе возможно абсолютное время, и проблемы механики сохранились бы. По той же причине не могут существовать поля, возмущения которых распространяются с разными скоростями. В каком-то смысле поле это единое понятие. Не зря известный том Ландау и Лифшица назван «Теория поля». А основа такой теории – специальная теория относительности, с нее и начинается книга. А если будет обнаружен эфир? Об этом можно было думать, пока надеялись, что существует механический эфир. То есть, что любые взаимодействия на расстоянии лежат все-таки в рамках механики, движения массивных тел, вещественных сред. Давно ясно, что это не так. А электромагнитного эфира, не являющегося веществом, не может быть принципиально. Предположение о его существовании абсурдно - мы это показали.

Что такое пространство и время?

Время – это то, что показывают часы.

Пространство – то, что измеряется линейками.

Какие-то детские определения? Какова глубинная сущность, например, времени? Строго говоря, показания часов – это так называемое собственное время. Собственное – чье? Этих часов... Или, например, материальной точки, с которой часы связаны. Бывает какое-нибудь еще время? Да, в физике говорят о координатном времени, своеобразной временной разметке. Главным в СТО как раз является несовпадение собственного времени с координатным.

Было ли время если не было часов?

Разумеется, часы понимаются расширительно. Есть процессы разной природы (частота излучения, соответствующая переходу в атоме; обращение планет вокруг Солнца), могущие служить эталонами времени. Если эталонные процессы по возможности освобождать от внешних воздействий, случайных влияний – они будут все в большей степени повторяющимися, взаимно согласованными. Значит, физическая задача измерения времени может быть ясно поставлена и (с определенной точностью) решена. Впрочем, согласованное протекание совершенно раз- нородных процессов подсказывает, что объективно имеется некоторая сущность, которая лежит за ними (и может быть ими измерена).

время – это показание часов. Тогда поясните, чьих именно ча- сов: Эйнштейна, или, может быть, моих?

Неважно. Достаточно иметь одни часы, принятые за эталон; другие, удаленные от них в пространстве, могут быть синхронизированы с ними. Конечно, если они абсолютно идентичны первым часам, то есть могут служить эталоном для той точки, где располагаются. Могут быть сверены и эталоны расстояний.

Что такое система отсчета?

Во-первых, Эйнштейн тут ни при чем. И законы Ньютона невозможно корректно сформулировать, не используя понятие систем отсчета (СО). В школе вопрос проскакивает незамеченным, отсюда ложное впечатление, что системы отсчета впервые «придумал» Эйнштейн. Во-вторых, понятие вполне конкретно и объективно. Излагая опять же упрощенно, система отсчета это лаборатория, в которой производятся измерения. Имеется в виду, что все приборы относительно лаборатории неподвижны. Для начала, СО представляет собой воображаемую совокупность часов и линеек. Иногда считают, что они условно «прикреплены» к выбранному телу отсчета. Что вовсе необязательно. Говоря более точно: система отсчета есть способ назначения событию его координат – пространственных и временных.

Есть две взаимно движущиеся системы отсчета. Какая из них «неподвижна»?

Ту, часы которой мы принимаем за синхронные.

Любое тело Вселенной испытывает действие сил, движется с ускорением. Зна- чит, инерциальных систем отсчета не бывает в природе? Конечно, не бывает: система отсчета – абстракция для целей анализа, а не что-то реально существующее. И она не должна быть непременно связана с телом. К примеру, важнейшую задачу механики: рассеяние частиц – удобно рассматривать в ИСО центра масс системы. В кото- рой ни одна частица не покоится! А как быть с реальной лабораторией, в которой ставятся опыты? Даже для реальной лаборатории неинерциальность не страшна: ее можно учесть поправкой к результатам. Комично, когда тезисом «ИСО не бывает!» оперируют в качестве аргумента против СТО. Он ведь должен тогда опрокидывать абсолютно всю физику: любые физические законы формулируют для ИСО.