

УДК - 530.12

**Шиллер Михаил Павлович**

*Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)*

*Россия, г. Ульяновск*

**Камалетдинова Алина Ильдаровна**

*Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)*

*Россия, г. Ульяновск*

**Иванова Олеся Сергеевна**

*Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)*

*Россия, г. Ульяновск*

**Трандин Семён Евгеньевич**

*Студент, УлГУ(Ульяновский государственный университет)*

*Россия, г. Ульяновск*

**ПАРАДОКС БЛИЗНЕЦОВ И ЕГО РАЗРЕШЕНИЕ: АНАЛИЗ  
АСИММЕТРИИ ВРЕМЕНИ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ  
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ**

*Аннотация:* В статье проводится теоретический анализ знаменитого мысленного эксперимента — парадокса близнецов, предложенного в контексте Специальной теории относительности (СТО) Альберта Эйнштейна. Целью работы является демонстрация того, что кажущееся противоречие принципу относительности устраняется при строгом учете фундаментального различия между инерциальными и неинерциальными системами отсчета. Методом логического и математического моделирования обосновано, что эффект замедления времени является физически реальным и асимметричным, поскольку только один из близнецов претерпевает неинерциальное ускорение при изменении направления движения.

*Ключевые слова:* специальная теория относительности, парадокс близнецов, замедление времени, преобразования Лоренца, инерциальная система, теоретическая физика.

**THE TWIN PARADOX AND ITS RESOLUTION: ANALYSIS OF TIME  
ASYMMETRY IN SPECIAL RELATIVITY**

**Shiller Mikhail Pavlovich**

*Student, ULSU(Ulyanovsk State University)*

*Ulyanovsk, Russia*

**Kamaletdinova Alina Ildarovna**

*Student, ULSU(Ulyanovsk State University)*

*Ulyanovsk, Russia*

**Ivanova Olesya Sergeevna**

*Student, ULSU(Ulyanovsk State University)*

*Ulyanovsk, Russia*

**Trandin Semyon Evgenievich**

*Student, ULSU(Ulyanovsk State University)*

*Ulyanovsk, Russia*

*Abstract:* The article provides a theoretical analysis of the famous thought experiment—the Twin Paradox—proposed in the context of Albert Einstein's Special Theory of Relativity (STR). The aim of the work is to demonstrate that the apparent contradiction to the principle of relativity is eliminated by strictly accounting for the fundamental difference between inertial and non-inertial reference frames. Using logical and mathematical modeling, it is substantiated that the time dilation effect is physically real and asymmetric, as only one of the twins undergoes non-inertial acceleration when changing direction.

*Keywords:* special relativity, twin paradox, time dilation, Lorentz transformations, inertial frame, theoretical physics.

## **Введение**

Специальная теория относительности (СТО), разработанная Альбертом Эйнштейном в 1905 году, построена на двух ключевых постулатах:

1. Принцип относительности: Законы физики одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.
2. Постоянство скорости света: Скорость света в вакууме ( $c$ ) одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от скорости источника или наблюдателя.

Из этих постулатов следуют такие фундаментальные релятивистские эффекты, как сокращение длины и замедление времени (релятивистский дилатационный эффект).

Парадокс близнецов — это мысленный эксперимент, который, казалось бы, ставит под сомнение первый постулат СТО. Он формулируется следующим образом:

Пусть один близнец (Путешественник) отправляется в дальний космический полет на релятивистской скорости  $v$ , а второй (Домосед) остается на Земле. С точки зрения Домоседа, время Путешественника должно замедляться. Но, согласно принципу относительности, с точки

зрения Путешественника, это время Домоседа должно замедляться. Когда они встречаются, кто из них окажется старше?

Целью данной работы является анализ физических причин асимметрии в данном сценарии и обоснование того, что парадокс является ложным, поскольку нарушается условие симметрии инерциальных систем отсчета.

Методы и теоретический анализ

Разрешение парадокса кроется в строгом разграничении между инерциальной и неинерциальной системами отсчета.

### *1. Определение замедления времени*

Эффект замедления времени устанавливает, что интервал времени  $\Delta t$ , измеренный в инерциальной системе отсчета, относительно которой часы движутся со скоростью  $v$ , всегда больше интервала времени  $\Delta t_0$ , измеренного по этим же часам в их собственной (покоящейся) системе отсчета. Это явление описывается формулой:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

где  $\Delta t$  — время в системе Домоседа;  $\Delta t_0$  — собственное время Путешественника;  $v$  — относительная скорость;  $c$  — скорость света.

Знаменатель в этой формуле — это Лоренц-фактор  $\gamma (\gamma > 1)$  который показывает, во сколько раз время замедляется. Так как  $\gamma$  всегда больше единицы,  $\Delta t$  всегда больше, чем  $\Delta t_0$ . Это означает, что для Домоседа часы Путешественника идут медленнее.

### *2. Анализ систем отсчета*

Ключевым моментом в парадоксе является не движение, а факт ускорения. Инерциальная система отсчета — это та, которая движется равномерно и прямолинейно или покоится. Система Домоседа (Земля) в этом мысленном эксперименте считается инерциальной.

Система Путешественника является неинерциальной, поскольку он обязан совершить два несимметричных маневра:

1. Разгон от Земли до скорости  $v$ .
2. Торможение и разворот в конечной точке маршрута.

### 3. Торможение при возвращении на Землю.

Во время этих маневров Путешественник испытывает физическое ускорение, ощущает силы и, следовательно, не находится в инерциальной системе. Из-за этого СТО не может быть симметрично применена к обеим системам на протяжении всего цикла полета.

Результаты теоретического разрешения

Разрешение парадокса основано на том, что при расчете общего прошедшего времени для Путешественника необходимо учесть три фазы:

1. Фаза 1 (Отлет): Равномерное движение. Время Домоседа течет быстрее.
2. Фаза 2 (Разворот и Возвращение): Неинерциальный участок. Именно здесь происходит основная асимметрия времени. Ускорение, которое испытывает Путешественник, мгновенно меняет его систему отсчета. В этот момент, с точки зрения Путешественника, время Домоседа (который остается в инерциальной системе) совершает резкий «скачок вперед» по шкале времени.
3. Фаза 3 (Возвращение): Равномерное движение обратно. Время Домоседа снова течет быстрее.

#### *1. Применение формулы*

Если принять, что общее время полета Домоседа равно  $T_{\text{земля}}$ , а время Путешественника равно  $T_{\text{корабль}}$ , то  $T_{\text{земля}} = T_{\text{корабль}} * \gamma$

Путешественник, находясь в корабле, измеряет свое собственное время  $T_{\text{корабль}}$ , которое является собственным временем и всегда минимально. Именно Домосед, который находился в одной, непрерывной инерциальной системе отсчета, может корректно использовать формулу замедления времени для расчета возраста своего брата.

#### *2. Вывод*

Ключевое отличие заключается в том, что траектория Путешественника в пространстве-времени Минковского является ломаной линией (геодезической между двумя событиями), в то время как траектория Домоседа — прямой линией (по оси времени). В релятивистской геометрии, ломаный путь между двумя точками имеет меньшую длину, чем прямой путь.

Следовательно, пройденное время не является относительной величиной в данном случае. Физический эффект ускорения, который затрагивает только Путешественника, делает его моложе.

### Заключение

Теоретический анализ парадокса близнецов позволяет сделать следующие выводы:

1. Парадокс является ложным, поскольку он основан на неверном предположении о симметрии систем отсчета. Принцип относительности применим только к инерциальным системам, а один из близнецов (Путешественник) неизбежно меняет свою систему отсчета посредством ускорения.
2. Эффект замедления времени, описываемый формулой  $\Delta t = \gamma \Delta t_0$ , является физически реальным и подтвержденным экспериментально (например, при сравнении скорости распада мюонов в атмосфере и в лабораторных условиях).
3. Путешественник, подвергавшийся ускорению и следовавший ломаной траектории в пространстве-времени, по факту вернется на Землю моложе своего брата-Домоседа.

Таким образом, разрешение парадокса близнецов не только подтверждает непротиворечивость Специальной теории относительности, но и подчеркивает глубокую связь между геометрией пространства-времени, кинематикой и природой времени.

### Список литературы

1. *Эйнштейн А.* К электродинамике движущихся тел // Собрание научных трудов в четырех томах. Т. I. — М.: Наука, 1965.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. II. Теория поля. — М.: Физматлит, 2003. — 512 с.
3. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Том 1. Современная наука о природе. — М.: Мир, 1976.
4. *Taylor E.F., Wheeler J.A.* Spacetime Physics. — W. H. Freeman and Company, 1992. — 352 p.
5. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. — М.: Стандартинформ, 2008.