

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

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЗАМЕДЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. В работе рассматривается релятивистское замедление времени — одно из ключевых следствий специальной теории относительности. Целью является систематизация знаний о зависимости хода времени от скорости движения системы отсчёта. Сформулированы постулаты Эйнштейна, выведена формула связи собственного и наблюдаемого интервалов времени, проанализирован парадокс близнецов. Результаты значимы для спутниковой навигации и физики элементарных частиц.

Ключевые слова: специальная теория относительности, замедление времени, постулаты Эйнштейна, собственное время, скорость света, лоренц-фактор, парадокс близнецов.

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

THEORETICAL ANALYSIS OF RELATIVISTIC TIME DILATION IN THE SPECIAL THEORY OF RELATIVITY

Abstract. The paper considers relativistic time dilation — one of the key consequences of the special theory of relativity. The goal is to systematize knowledge about the dependence of the flow of time on the speed of the reference frame. Einstein's postulates are formulated, a formula relating the proper and observed time intervals is derived, and the twin paradox is analyzed. The results are significant for satellite navigation and elementary particle physics.

Keywords: special theory of relativity, time dilation, Einstein's postulates, proper time, speed of light, Lorentz factor, twin paradox.

Введение

Специальная теория относительности, созданная Альбертом Эйнштейном в 1905 году, коренным образом изменила представления о пространстве и времени, господствовавшие в физике со времён Ньютона. В классической механике время считалось абсолютным и текущим одинаково во всех системах отсчёта. Теория относительности показала, что это представление справедливо лишь при малых скоростях.

Одним из наиболее ярких и неожиданных следствий теории является эффект замедления времени: ход времени в системе отсчёта, движущейся относительно наблюдателя, оказывается замедленным по сравнению с ходом времени в системе наблюдателя. Этот вывод, противоречащий повседневному опыту, тем не менее многократно подтверждён экспериментально.

Актуальность темы определяется тем, что релятивистские эффекты перестали быть чисто теоретическими: их необходимо учитывать в работе систем спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС), при анализе движения элементарных частиц в ускорителях и при изучении космических лучей. Пренебрежение этими поправками привело бы к быстрому накоплению ошибок.

Целью данного исследования является теоретический анализ эффекта замедления времени, вывод соответствующей формулы на основе постулатов специальной теории относительности и обсуждение связанного с ней парадокса близнецов.

Методы и теоретические основы

В основе специальной теории относительности лежат два постулата. Первый — принцип относительности: все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта. Второй — принцип постоянства скорости света: скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта и не зависит от движения источника или наблюдателя.

Именно второй постулат, противоречащий классическому закону сложения скоростей, приводит к пересмотру понятий одновременности и длительности. Рассмотрим мысленный эксперимент со световыми часами — устройством, в котором импульс света отражается между двумя зеркалами, а каждый цикл отсчитывает единицу времени.

В системе отсчёта, где часы покоятся, свет проходит между зеркалами по прямой, и интервал между тиканьями равен собственному времени Δt_0 . Для наблюдателя, относительно которого часы движутся со скоростью v , свет вынужден проходить более длинный путь по диагонали. Поскольку скорость света одинакова в обеих системах, более длинный путь означает большее время между тиканьями. Применяя теорему Пифагора к траектории светового импульса, получаем связь интервалов:

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

где Δt_0 — собственное время (измеренное в системе, где часы покоятся), Δt — время, измеренное наблюдателем, относительно которого часы движутся, c — скорость света в вакууме. Множитель, обратный корню, называется лоренц-фактором:

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - v^2 / c^2}$$

Поскольку скорость любого тела меньше скорости света, подкоренное выражение всегда положительно и меньше единицы, а значит, лоренц-фактор всегда больше единицы. Следовательно, наблюдаемый интервал Δt всегда больше собственного Δt_0 — движущиеся часы идут медленнее.

Результаты теоретического анализа

Анализ полученной формулы выявляет важные закономерности. При малых скоростях, когда v много меньше c , лоренц-фактор практически равен единице, и замедление времени становится неощутимым — это объясняет, почему в обыденной жизни эффект не наблюдается и классическая механика остаётся прекрасным приближением.

Напротив, при скоростях, близких к скорости света, лоренц-фактор резко возрастает, и замедление времени становится колоссальным. Именно поэтому нестабильные элементарные частицы (мюоны), рождающиеся в верхних слоях атмосферы и движущиеся с околосветовой скоростью, успевают достичь поверхности Земли, хотя за время своей жизни в состоянии покоя они распались бы гораздо раньше. Это явление служит прямым экспериментальным подтверждением теории.

Особого внимания заслуживает так называемый парадокс близнецов. Если один из близнецов отправляется в космическое путешествие с околосветовой скоростью, а затем возвращается, он оказывается моложе

оставшегося на Земле брата. Кажущийся парадокс (ведь движение относительно) разрешается тем, что путешествующий близнец испытывает ускорения при развороте и потому не находится в одной инерциальной системе отсчёта на протяжении всего пути; ситуация близнецов несимметрична.

Практическое значение эффекта наиболее ярко проявляется в спутниковых навигационных системах. Атомные часы на борту спутников движутся относительно земного наблюдателя, что требует учёта релятивистского замедления времени. Без соответствующих поправок (как от специальной, так и от общей теории относительности) ошибки определения координат накапливались бы со скоростью около десяти километров в сутки.

Заключение

Проведённый теоретический анализ подтверждает, что замедление времени является закономерным и экспериментально проверенным следствием постулатов специальной теории относительности, а не иллюзией восприятия.

Основные выводы исследования:

Ход времени зависит от скорости движения системы отсчёта: движущиеся часы идут медленнее покоящихся.

Эффект становится существенным лишь при скоростях, сравнимых со скоростью света, что объясняет его незаметность в повседневной жизни.

Замедление времени экспериментально подтверждается поведением элементарных частиц и учитывается в системах спутниковой навигации.

Перспективы дальнейших исследований связаны с анализом релятивистского сокращения длины и эффектов общей теории относительности, в которой на ход времени влияет также гравитационное поле.

Использованные источники

Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собрание научных трудов. Т. 1. — М.: Наука, 1965. — 700 с.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. — М.: Физматлит, 2012. — 536 с.

Иродов И.Е. Механика. Основные законы. — М.: Лаборатория знаний, 2014. — 309 с.

Угаров В.А. Специальная теория относительности. — М.: Наука, 1977. — 384 с.