

Теория относительности — Lurkmore



ACHTUNG! Опасно для моска!

Министерство здравоохранения Луркмора предупреждает: вдумчивое чтение нижеследующего текста способно нанести непоправимый ущерб рассудку. Вас предупреждали.



Это хорошая, годная статья

Вы можете помочь уютненькому, если **не будете её трогать**. Не надо. Займитесь лучше **чем-нибудь полезным**.

«— Ваш фильм «Золотая лихорадка» понятен во всём мире, и Вы непременно станете великим человеком.

— Я Вами восхищаюсь ещё больше. Вашу теорию относительности никто в мире не понимает, а Вы всё-таки стали великим человеком. »

— Из переписки Альберта Эйнштейна и [Чарли Чаплина](#)

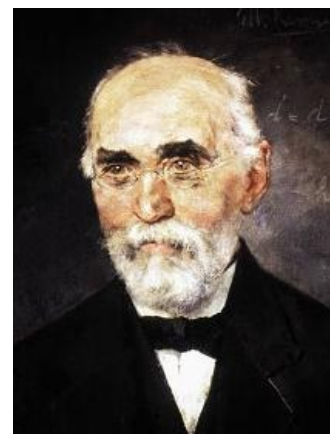
«Все самые важные фундаментальные законы и факты физической науки уже открыты и прочно утвердились; вероятность того, что их когда-нибудь в результате новых открытий сменят другие законы и факты чрезвычайно мала... В будущем нам следует ожидать новых открытий лишь в шестом знаке после запятой. »

— Альберт Майкельсон, измеритель скорости света. Из речи на церемонии открытия физической лаборатории Райерсона в Чикагском университете **в 1894 году** (за 11 лет до появления СТО)

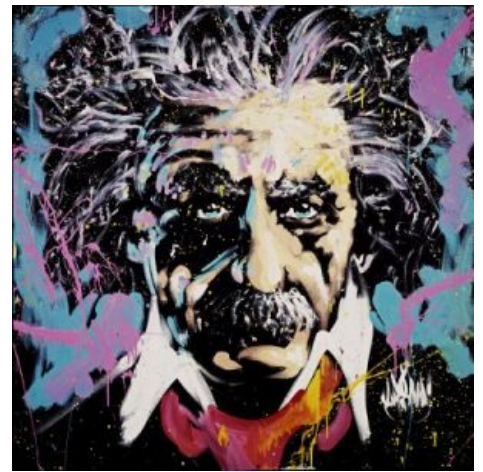
Теория относительности — научная теория, объясняющая устройство нашего мира на макроуровне, объединяющая механику, электродинамику и гравитацию. Собственно термин «Теория относительности» ввёл немецкий физик Макс Планк. Внедрена в научные круги расовым немецким евреем Альбертом « $E=mc^2$ » Эйнштейном путём компиляции работ нидерландца Лоренца, расового еврея [Минковского](#), француза Пуанкаре, ну и собственных тоже.

Делится на две части: Специальную и Общую.

Предыстория вопроса



Хендрик (Гедерик) Лоренц, наивный и простой



Эйнштейн [вглядывается в постулаты Ньютоновской физики](#)



Для самых маленьких

«Альберт Эйнштейн так часто рассказывал мне свою теорию относительности, что мне даже показалось, что он ее все-таки понимает. »

— Хаим Вейцман, первый президент Израиля

На рубеже XIX и XX веков в среде физиков царил нарастающее [уныние](#). Научные руководители на полном серьёзе рекомендовали своим студентам не связывать карьеру с физикой, а отправляться [на юрфак](#), ибо почти все законы уже были вроде бы открыты, и лет через 20—30, когда последние нюансы разрешатся, кормиться на ниве физики будет уже нечем. Кафедры физики позакрывают, а их бывшим научным сотрудникам раздадут метлы для подметания коридоров юрфака. Это, например, упоминается в биографии [Макса Планка](#).

Одним из таких не до конца ещё выясненных нюансов был вопрос:

как скрестить механику Ньютона с уравнениями Максвелла (электродинамикой).

Источник проблемы

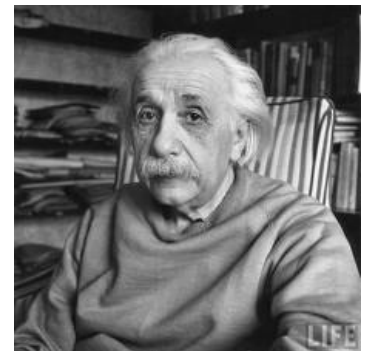


Суммарный интеллект больше,
чем у остальной планеты

«Если факты противоречат моей теории, тем хуже для фактов.»

— Эйнштейн цитирует Гегеля и Канта.

Внезапно была обнаружена нестыковка двух областей физики: проверенной временем и практикой механики Ньютона и сравнительно молодой науки электродинамики (в том числе описывающей распространение электромагнитных волн). Вот это распространение волн описывалось уравнениями Максвелла, которые тоже были многократно проверены экспериментом и сомнений не вызывали. Тогда уже было известно, что свет — это тоже электромагнитная волна, и, следовательно, скорость распространения электромагнитных волн равна скорости света. Но вот попытка поместить на движущийся поезд фонарик и посчитать, с какой там скоростью будет распространяться свет этого фонарика, заканчивалась неудачей и **КОГНИТИВНЫМ ДИССОНАНСОМ**. В механике Ньютона скорости поезда и света надо было бы складывать, но уравнения Максвелла такого финта ушами описать не могли, а попытки их допилить, чтобы подстроить под такую ситуацию, лажали. Например, если лететь вдогонку за светом с такой же скоростью — со скоростью света, — то этот свет по уравнениям Максвелла... **исчезал**. Совершенно неотличимая ситуация становилась от того, как если бы никакого света и не было.



Он смотрит на тебя
слегка недовольно,
оценивающе, и в то же
время грустно и с
пониманием...

Всё дело в эфире!

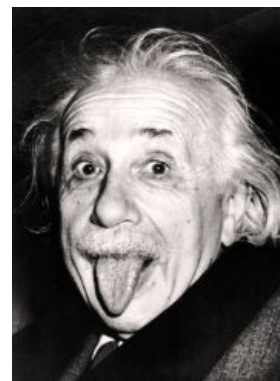
Уравнения Максвелла, описывающие распространение света, были волновыми. Изменение электрического поля порождает изменение магнитного, а изменение магнитного — порождает изменение электрического — побежала волна. Если же лететь за такой волной на её скорости, складывалась странная ситуация — изменения полей (в пространстве относительно наблюдателя) нет, а поля неподвижно зависли в пространстве, ничем не подкрепленные физически, что невозможно повторить в опыте. Замечено однако, что для распространения волны необходима среда, которая будет передавать колебания. Так, для распространения акустической волны (то есть звука) нужен, например, воздух. Брошенный в воду камень создаёт на её поверхности волны. Ну так может и электромагнитная волна распространяется в какой-то специфической среде? Вот это чудо-вещество и было названо эфиром. Эфир был одной из моделей, предназначенной сперва для описания электродинамики, а позднее — и гравитации, Менделеев пытался прикрутить эфир к объяснению периодического закона.

В наиболее простых моделях считалось, что эфир и вещество — различные вещи, и первый не оказывает материи никакого сопротивления. Такую идею продвигал, к примеру, Больцман. Но подобный подход порождал проблемы: если эфир — идеальная жидкость, а частицы — идеальные шарики, то силы трения, которые отвечали за создание магнитного поля, исчезали, в противном случае возникало лобовое трение частиц об эфир. Магнитное поле вроде бы наблюдалось, и поэтому учёные сделали вывод: раз эфир у нас живёт сам по себе, то двигаясь вместе с Землей, мы должны тереться об эфир. А поскольку этого трения не было заметно, ему требовалось приписать **волшебные свойства** — эфир должен одновременно быть и абсолютно плотным для проведения электромагнитных волн, и абсолютно разреженным во избежание энергетических потерь.

Из эфирной трактовки также следует, что если наша Земля двигается мимо эфира, то весь свет на Земле должен «сноситься встречным потоком». По-научному это называется анизотропией скорости света, и ученые решили искать ветер ничуть не сомневаясь в успехе операции. В итоге товарищи Майкельсон и Морли ставят опыт и не находят искомого эффекта. То есть что-то

они там намерили, но в 6 раз слабее и не в том направлении. Научное сообщество стало думать, как жить с этим знанием. А от теории эфира остались такие понятия, как «напряжённость» и «ток» в электродинамике, и бытовое: «В эфире радиостанция „Маяк“»

Эйнштейн



«Был этот мир глубокой тьмой окутан.
Да будет свет! И вот явился Ньютон.
Но Сатана недолго ждал реванша.
Пришёл Эйнштейн — и стало всё, как раньше. »

— Первые две строки — Александр Поуп (1688—1744),
вторые — Джон Сквайр (1884—1958).
Общий перевод С. Маршака

«Да что же всё-таки происходит?» — опять спросили себя физики и принялись думать дальше.

Особенно далеко в размышлениях продвинулись два товарища: вышеупомянутый Лоренц, чьи формулы представляли собой попытку объяснения необнаружения эфира в предположении, что движение вещества в эфире порождает изменения в самом веществе, делающие обнаружение анизотропии света невозможным [1], и Пуанкаре. Выводы теории относительности во многом совпадают с формулами, полученными в их работах, хотя авторы и основывались на других предпосылках. Однако Эйнштейн, проявив недюжинную гибкость ума и широту сознания, не останавливаясь даже в тех местах, где **обычный порошок** не справляется, и другой теоретик уже давно бы зачеркнул все труды, **выбросив их в унитаз**, предложил альтернативную трактовку формул, подойдя к проблеме с другого конца.

Обычно физики ставили механику Ньютона на более приоритетное место и стремились подогнать уравнения Максвелла под неё. Но Эйнштейн пошел от противного: **по-настоящему верны** именно уравнения Максвелла, и это механика Ньютона **требует доработки!**

Мозголомка началась.

Специальная теория относительности

«Как-то раз английского астронома Артура Эддингтона спросили:

— Сэр, правду ли говорят, что вы один из трёх человек в мире, которые понимают теорию относительности Эйнштейна? Наступило неловкое молчание — учёный явно затруднялся с ответом. Тогда спрашивающий поспешил исправить положение: — Может быть, сэр, я что-то не так сказал? Мне, видимо, сэр, следовало бы догадаться, что вы, сэр, при всей вашей скромности, сочтёте мой вопрос несколько бестактным. В таком случае, сэр, позвольте... — Ничего... ничего... — благодушно прервал его Эддингтон. — Просто я задумался, пытаюсь вспомнить, кто же этот третий.

»

— Знаменитая байка

Постулаты Специальной теории относительности

Что значит «по-настоящему верны именно уравнения Максвелла»? Сие означает, что в любой инерциальной системе отсчёта законы электродинамики (а не только как у Галилея механики) неизменны, а потому и уравнения не меняют свой вид (инвариантны). Из формул преобразования при переходе между такими системами, в свою очередь, при допущении равноправности всех точек нашей необъятной вселенной и всех направлений, следует вывод, что скорость света во всех таких системах отсчёта одинакова.

Небольшое пояснение: инерциальные системы отсчёта (ИСО) — это системы отсчёта, в которых **точечное тело**, на которое не действуют никакие силы, сохраняет свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Умнее говоря, ИСО — это системы отсчёта, в которых выполняются законы Ньютона. Постулаты СТО формулируются именно для таких систем, как, впрочем, и второй, и третий законы Ньютона в ньютоновой же механике, ничего нового Эйнштейн тут не изобрёл.

Если кто не уловил тонкости вопроса: сложение скоростей по Галилею, использовавшееся в ньютоновой механике, пошло котэ под хвост. Один и тот же лучик света, испущенный фонариком на поезде, будет двигаться с одной и той же скоростью как относительно движущегося поезда, так и относительно неподвижного перрона. То есть, для перрона он будет улетать со скоростью света. И для поезда он тоже будет улетать ровно с той же скоростью света. И для фонарика. И для поезда. Одна и та же скорость. Даже если они двигаются друг относительно друга!!!

Собственно постулатов 3 штуки:

1. Принцип относительности Эйнштейна: все физические процессы в инерциальных системах отсчёта протекают одинаково, и всё равно, неподвижна ли эта система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения.
2. Существует предельная (максимальная) скорость распространения взаимодействий.
3. Пространство и время однородны, пространство является изотропным.

Первый постулат, казалось бы, спизжен у Галилея, но там речь шла сугубо о механике Ньютона, а не о всех физических процессах. На самом деле ничего, кроме механики Ньютона, тогда и не было, а потому речь шла именно о всех физических процессах, то есть правильной было бы говорить «принцип относительности Галилея», благо у Эйнштейна и своих заслуг хватает. По-настоящему важным является именно второй постулат. Из него, собственно, всё и выводится. Некоторые дебатировали, что второй постулат какбэ прямо следует из первого, ежели принять уравнения Максвелла за аксиому^[1], и этого постулата писать специально не надо. Но потом решили не уподобляться Ландафшицу^[2], который при написании своих учебников периодически терял 3-6 страниц выкладок в трамвае, и вместо них писал «далее легко видеть, что...»; и записать второй постулат явным образом во избежание излишнего срача. Кстати, из второго постулата также следует невозможность движения материальных тел со скоростью, превышающей предельную, а для массивных тел — невозможность двигаться ровно с предельной скоростью, только меньше.

Третий постулат (обычно неявно) используется при выводе преобразования Лоренца, кроме того, он имеется и в механике Ньютона. Как следствия, из него выводятся законы сохранения импульса, энергии и момента импульса.

Если сесть за стол с листочком бумаги и карандашом, взять тот же опыт с поездом и фонариком и начать разлиновывать бумажку согласно второму постулату, то получается ну просто полная хуйня. Получается, что время одного и того же процесса, вычисленное по формулам в ИСО перрона и в ИСО поезда, разное.

Время. Разное. Совсем. Время. Для стоячего и движущегося. Разное. Нестыковочка!

«Так может, [на самом деле](#) время разное?» — неожиданно подумал Эйнштейн, и оказался чертовски прав. Но сколько же ему надо было выкурить [травы](#), чтобы пустить мысль по этому направлению — это история умалчивает (однако, фраза «Воображение важнее знания», приписываемая Эйнштейну, какбэ намекает).

Относительность одновременности. Преобразования Лоренца

Итак, одним из важных выводов, следующих из такого *странного* поведения света, вернее, его скорости, было то, что события, одновременные в одной инерциальной системе отсчёта, будут не одновременными в другой, если эти системы отсчёта относительно друг друга движутся.

Другой бы учёный на этом этапе [порвал бы свои листочки с чертежами на лоскуты](#), но Эйнштейн продолжал скрупулёзно выводить формулы.

Итогом стали формулы по пересчёту координат, как временных, так и пространственных, из одной системы отсчёта в другую, которые сейчас называются преобразованиями Лоренца. Дело в том, что Лоренц вывел их ещё до Эйнштейна, но использовал, чтобы устранить противоречия между электродинамикой и Ньютоновской механикой. Выходили забавные вещи: как пространство, так и время в разных системах отсчёта (если они двигаются относительно друг друга), *выглядят* по-разному. Причём в формулах пересчёта пространственные координаты зависят от временных, а временные — от пространственных. Возникла зависимость «пространства от времени» и причина говорить, что время и пространство неразделимы и составляют единый пространственно-временной континуум.

Наиболее известные эффекты, выводимые из преобразований Лоренца, таковы:

1. Сокращение размеров, или лоренцево сокращение. Если бы мимо нас летела ракета, то её размеры, будучи измеренными в нашей неподвижной СО, сократились бы вдоль вектора скорости по сравнению с измеренными размерами ракеты, находящейся в состоянии покоя, и тем сильнее, чем быстрее она летит относительно нас. В пределе, если бы ракета летела со скоростью света, [её длина стала бы нулевой](#).
2. [Замедление времени](#). Временные интервалы между событиями с нашей точки зрения будут длиннее, чем были бы интервалы между теми же самыми событиями, измеренными в движущейся ракете, и тем длиннее, чем ближе её скорость к скорости света. В пределе — если бы ракета летела со скоростью света, нам бы казалось, что [время в ней совсем остановилось](#).

Если кто-то подумает, что из ракеты мы будем при таких пертурбациях выглядеть удлинённо и со спешащими часами — то это неверно. В силу относительности движения для ракеты (а она летела прямолинейно и без ускорения) это мы движемся, а она покоится, так что наблюдатель в ней будет видеть нас укороченными и с замедленными часами.

Эти эффекты наиболее известны, но не составляют полной картины. Полная картина — сами преобразования Лоренца. Попытки рассматривать некоторые эксперименты на основании только этих эффектов зачастую приводят к парадоксам. Многие критики СТО обламываются именно на этом моменте.

Скорость света и причинно-следственность

Ещё одним следствием преобразований Лоренца является то, что при движении со скоростью больше скорости света временные отрезки измеряются в мнимых временных единицах, что, с точки зрения механики Ньютона, лишено какого-либо физического смысла. С этим даже обкуренный мозг Эйнштейна спорить не стал, и последовал вывод: двигаться в вакууме со скоростью больше световой нельзя. Из СТО следует невозможность для тела, обладающего массой, достичь скорости света. А из принципа причинности — невозможность тахионов (частиц, якобы летающих быстрее света) взаимодействовать с досветовыми объектами.

"Испугались открытия" +++
[Зомбящик](#) в курсе великих открытий

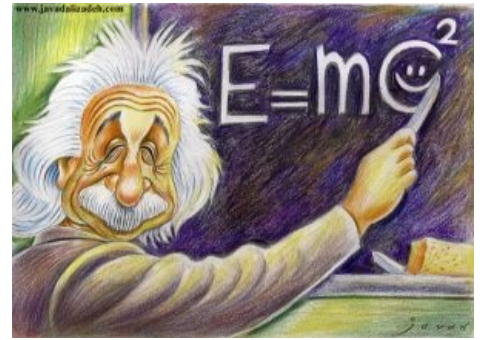
Так скорость света **в вакууме** стала не только инвариантной (одинаковой для одного и того же пучка света во всех системах отсчёта), но и максимально возможной скоростью чего бы то ни было вообще. В механике Эйнштейна этому соответствует простой факт: чтобы разогнать массивное тело до скорости света, нужно затратить [бесконечное количество](#) энергии, что, разумеется, невозможно.

Двигаться со скоростью большей, чем скорость света [в некоей среде, возможно](#). [Педивикия](#) расскажет об этом. Однако свет там двигается медленнее света в вакууме, так что всё пучком.

Недавно появилась публикация коллаборационистов OPERA, в которой они мамой клялись, что нейтрино статистически достоверно превысили скорость света на 0,0025%, они зафиксировали опережение в 60 наносекунд и что они всё-всё учли. Другие учёные [смотрят](#) на этот результат [как на говно](#): впоследствии обнаружилось [различные ошибки](#), которые могли быть как подтверждением существования магии, так и нет, но позже серия экспериментов по [измерению скорости нейтрино](#) подтвердила верность СТО в классической её форме. Фок йеа.

$$E=mc^2$$

Древняя как мир формула $E=mc^2$. В классической механике — прямое следствие уравнения Мещерского для тела, излучающего частицы со скоростью света. Как и любой велосипед, была кем только ни открыта: Оливером Хевисайдом (1889; ЧСХ, он получил великую формулу как побочный результат сведения системы 22 уравнений Максвелла в векторную форму, которую изучает каждый студент, но, снова СХ, посчитал её дефектом математики, а не окружающего мира), Толвером Престоном (1895), Кельвином (1903), Олинто де-Претто (1903), Анри Пуанкаре (1904), Фритцем Хазенорлом (1904, ошибся коэффициентом), Максом Планком (1907). Но мы ведь не ищем простых путей.



Формулы традиционной до того механики Ньютона потребовали полного пересмотра в теории относительности. Одна из таких формул — формула кинетической энергии тела. Напоминание для подзабывших школьную программу: кинетическая энергия летящего куска массы — это работа, которую надо затратить, чтобы разогнать данную массу из неподвижного состояния до той скорости, с которой она летит. А работа — это произведение перемещения на силу и на косинус угла между направлением движения тела и приложенной к нему силой, трам-пам, интегрируя и дифференцируя, Ньютон получил широко известное эм-вэ-квадрат-пополам ($E_k=mv^2/2$).

Идя по тому же пути, Эйнштейн интегрировать и дифференцировать не стал, а вместо этого разложил в ряд по степеням «v» и получил в итоговой формуле для кинетической энергии в релятивистской механике, что она состоит из разности двух величин: члена, зависящего от скорости (и обнуляющегося при скорости равной нулю), и члена, не зависящего от скорости и равного всегда mc^2 . Должно быть, уже понятно, что такая хуйня, как какой-то там **членик** в уравнении, не могла остановить Эйнштейна, и он сделал вывод, что даже на то, чтобы тело покоилось, ну то есть просто на абсолютно покоящееся тело, уже надо затратить энергию $E_0=mc^2$, и ввел понятие полной энергии тела $E=E_k+E_0$. **Волшебным образом** выражение релятивистского импульса через полную энергию из многоэтажного **мата** агрегата схлопнулось в красивую формулу.

Так возникла концепция эквивалентности массы и энергии, превосходно подтвердившаяся в ядерной физике и лежащая в основе принципа действия **ядранных бомб**. В каждой массе, даже неподвижной, заключено дохуя потенциальной энергии — Хиросима в этом убедилась лично. И Нагасаки подтвердит. Сам Эйнштейн, кстати, был очень недоволен, **когда узнал**, в каких целях генералы использовали его теоретические выводы. Собственно, популярная литература гласит, что с тех пор он начал сходить с ума, но мы-то знаем, что началось всё не с этого...

Перевести же всю массу в энергию можно только при аннигиляции её с таким же количеством антиматерии. Но, увы, получение античастиц — дело очень трудоёмкое...

Помимо того, что формула открывает глаза на связь чистой массы и энергии, интересен и теоретически полученный коэффициент c^2 , отчего формула и выглядит так изящно, так как по сути в ней объединены разные совершенно не связанные на первый взгляд ипостаси окружающего мира (вещество и поле). Ведь если мыслить технически, то, **казалось бы**, какая может быть связь между веществом (массой) и светом — электромагнитной волной, у которой есть какая-то там скорость?

На самом же деле, при движении $E=\gamma mc^2$, где $\gamma=1/(1-v^2/c^2)^{0,5}$, m — масса покоя. Можно убедиться, что при $v \ll c$ $E=\gamma mc^2=mc^2 + mv^2/2 + \dots$ (далее идут ничтожные по сравнению с $mv^2/2$ члены), т.е. при относительно малых скоростях СТО плавно переходит в ньютоновскую механику.

Если ввести релятивистскую массу $m_{rel}=\gamma m$, то формула будет работать и для движущейся частицы: $E=m_{rel}c^2$. Хотя есть отдельный срач [2] о том, что её лучше не вводить.

Мир Минковского

Большой вклад в СТО внёс позже математик Минковский. Он показал, что преобразования Лоренца замечательно переносятся на графики, если на графиках изображено **псевдоевклидово пространство с сигнатурой (3,1)** (ну или (1,3) — те же яйца, только в профиль). Звучит заумно, таковым и является. Тем не менее, всё это означает, что живём мы с вами не в евклидовом, а в псевдоевклидовом пространстве-времени Минковского, так называемом пространственно-временном конусе Минковского. Не во всех школах об этом рассказывают. **Власти скрывают**, но истинно обкуренные физики знают.

Идея пространственно-временного конуса Минковского широко представлена в популярной форме во всяких бредовых фильмах, тесно связанных с машинами, якобы позволяющими перемещаться во времени, ибо реализация любой машины времени на сегодняшний день зиждется на этом конусе, и ниибёт.

На самом деле в пространстве Минковского заключена вся суть современного (последние лет сто) представления об СТО. Грубо говоря, наше пространство-время четырёхмерно. К этому ещё добавляется то, что это не обычное (евклидово) 4-мерное пространство, а псевдоевклидово пространство-время Минковского с уже указанной выше метрикой. Означает это примерно то, что в этом пространстве расстояния измеряются немного по-другому. Например, тот же парадокс близнецов, сводится к тому, что два близнеца пролетели в упомянутом пространстве Минковского разные расстояния, называемые «интервалами», вылетев из одной точки (точки пространства и момента времени) и встретившись в другой (пофиг, что точка пространства вроде как одна и та же — момент времени другой же), так же, как два автомобиля, проехав разные пути, потратят разное количество бензина, хотя и встретятся в одной точке.

Совсем просто для обывателя: когда говорится о четырёхмерном пространстве-времени СТО, то не имеется в виду никакое особое четвёртое измерение, как свёрнутые измерения в теории струн, и загробный мир в нём. Подрыв основ в том, что не существует абсолютного времени отдельно от системы отсчёта и трёхмерного пространства, точно так же как не существует абсолютного пространства с сеткой координат и абсолютными расстояниями. Пространство и время, разделённые в обыденном сознании ещё более, чем дядька в Киеве и бузина в огороде, становятся частью единого континуума, в котором и протекают все физические процессы.

ОТО, собственно, отличается от этой картины тем, что это пространство-время Минковского ещё и искривлено.

Положение механики Ньютона в рамках СТО

При скоростях много ниже скорости света формулы релятивистской механики выдают почти те же результаты, что и формулы классической школьной Ньютонской физики, разница становится пренебрежимо мала для решения подавляющего большинства технических задач. Поэтому Ньютон занимал, занимает и будет занимать своё место на почётном пьедестале во веки веков. Аминь.

Парадоксы СТО

««Время проходит!» — привыкли говорить вы по неверному пониманию. Время стоит — проходите вы. »

— *Талмуд*

Введение

Попытки разобраться в СТО зачастую подводят людей к ступору мозга, а если желание разобраться в ней изначально было спровоцировано попыткой опровергнуть и высмеять старичка Эйнштейна, то ступор мозга обязательно выливается в заявление, что **молодой и незашоренный** мозг наконец-то поверг в пух и прах колосса с глиняными ногами, именуемого теорией относительности. И прочие вкусные эпитеты. **Британские ученые** считают, что Эйнштейн производит в гробу **over 9000** проворотов в день из-за постоянного муссирования так называемых «парадоксов теории относительности» (**даже несмотря на то**, что тело после кончины отправили в **биореактор**). Наиболее известные парадоксы относятся к СТО, так как ОТО понять и чего-то там напарадоксировать среднестатистический мозг отказывается даже на подступах к азам. Поэтому наиболее сильной атаке подвергается именно СТО. Учёные же **знают**, что СТО математически непротиворечива и умственными экспериментами её опровергнуть невозможно. Единственный способ опровергнуть её — поставить реальный эксперимент, который бы показал расхождение результата с теорией в **границах её применимости**. ЧСХ, все парадоксы СТО были явлены на белый свет почти сразу же после самой теории, были рассмотрены и разрешены сто лет в обед: в десятых-двадцатых годах прошлого столетия. Вот некоторые из них.

Парадокс шеста и сарая

Из СТО мы знаем, что движущиеся тела сокращаются в направлении движения. Возьмём сарай с двумя сквозными дверьми. Возьмём шест, который **чуть длиннее, чем сарай**. Если открыть обе двери и просунуть в них шест, то он в сарай не поместится и будет торчать из дверей по обе стороны. Воспользуемся сокращением длин — разгоним шест до такой скорости, чтобы он сократился, допустим в два раза, и тогда, пролетая сквозь сарай, он весь целиком там поместится! Захлопнем двери сарая, пока шест находится внутри и тут же быстренько их откроем, чтобы не поломать сей девайс. С другой стороны,



Проекция ущербного трехмерного сечения Германа Минковского на ещё более ущербное двумерное пространство

система отсчёта, связанная с шестом, равноправна с системой, связанной с сараем. То есть в ней будут наблюдаться те же эффекты сокращения продольных размеров, но только уже сарая! И мы видим следующее противоречие: в системе отсчёта, связанной с шестом, сарай станет короче, а чуть более длинный изначально шест в сарай тем более не поместится. Значит, захлопнув двери сарая, мы обязательно сломаем шест!

Этот парадокс — один из типичных случаев, когда, вцепившись в один из эффектов СТО, человек делает далеко идущие выводы, пренебрегая другими, подчас более важными эффектами. Сокращение длин действительно произойдёт так, как описано в парадоксе — для сарая шест окажется укороченным и поместится в нём целиком, а для шеста укороченным окажется сарай, который не сможет поместить в себя весь шест. Так где же правда?

А правда — в относительности одновременности. Сокращение длин — это второстепенный эффект, относительность же одновременности — намного более важный. Ещё раз вспомним уже сказанное тут: события, одновременные в одной системе отсчёта, будут по СТО неодновременными в другой системе отсчёта, если системы движутся друг относительно друга. Если присмотреться к эксперименту, у нас в нём есть чётко выраженные события, одновременные в ИСО сарая — это момент, когда мы закрываем переднюю и заднюю двери сарая. Мы делаем это в ИСО сарая **ОДНОВРЕМЕННО**. Нетрудно догадаться, что в ИСО шеста они произойдут в разные моменты времени, а именно: когда передний конец шеста войдёт в сарай и приблизится к задней двери, она захлопнется и тут же откроется, а когда задний конец шеста сравняется с передней дверью, захлопнется и откроется, в свою очередь, и она. Таким образом, шест не сломается ни в ИСО сарая, ни в ИСО шеста.

Если внимательно присмотреться к этому парадоксу, то можно сделать один важный вывод насчёт эффекта сокращения длин. Как мы измеряем длину объекта? Прикладываем к нему линейку и смотрим на показания шкалы у начала и конца объекта. А если этот объект движется? Тогда, чтобы не испортить показания, посмотреть на шкалу у начала и конца объекта надо... **ОДНОВРЕМЕННО**. Одновременно? Хм... Ну да, иначе показания окажутся всяко неверными. Но ведь то, что в нашей ИСО по теории относительности одновременно, в другой ИСО будет неодновременным и тогда... Последнее умственное усилие сделайте сами^[3].

Парадокс близнецов

Другой парадокс касается эффекта замедления времени и звучит следующим образом:

Жили-были два брата-близнеца (одногодки) — Коля и Юра. Коля с юности курил и бухал, якшался со всяким сбродом, в общем, пошёл по наклонной. А Юра вёл здоровый образ жизни, поступил в лётное училище, закончил его с золотой медалью и стал в конце концов космонавтом. Недолго думая, учёные посадили Юру на ракету, хорошо его разогнали и отправили его с почти световой скоростью к ближайшей звезде (допустим, на расстояние в один световой год) с заданием: прилететь, сфотографировать звезду и тут же улететь обратно на Землю. Заранее выкрутим параметры эксперимента до экстремальных, так легче будет рассуждать: Юра почти мгновенно разгоняется до почти световой скорости, долетает до звезды, почти мгновенно тормозится до состояния покоя, мгновенно фотографирует звезду, опять мгновенно разгоняется до почти световой скорости по направлению уже к Земле, летит до Земли, там почти мгновенно останавливается, выходит из ракеты и сразу в бар, обмывать морковным соком успех эксперимента, а там, как завсегда, уже в стельку пьяный в дверях лежит Коля. И вот, братья, кто с укоризной, а кто с мутным равнодушием в глазах, смотрят друг на друга. Что же они видят?

— Тебя, братик, не узнать как ты постарел!!! — восклицает Юра. — Вот он — наглядный вред беспорядочного образа жизни!

Если рассматривать эксперимент с точки зрения (из ИСО) Земли, то Юра два года провёл в полете, двигаясь с почти световой скоростью. По СТО мы знаем, что часы у Юры, с точки зрения Земли, в этом случае, все два года шли крайне замедленно (почти что стояли на месте). Поэтому вернётся он почти в том же возрасте, что и улетал — ну там, десять минут, допустим, по его часам всего прошло. Коля же находился всё это время почти что в состоянии покоя (ну, шляется там по барам-ресторанам, но это явно со скоростью намного меньше световой, поэтому можно считать, что покоился) и всё это время усиленно старел со скоростью один год за год. То есть Коля по итогу эксперимента окажется почти на два года (за вычетом десять минут) старше брата-близнеца.

Вот на этом месте некоторые вспоминают про первый постулат Эйнштейна — о равноправии систем отсчёта — и говорят: но ведь в системе отсчёта Юры это он покоился, а Земля сперва улетала назад с почти световой скоростью, а потом летела обратно к ракете. Значит, с точки зрения Юры это на ней время было замедлено, а следовательно, более молодым должен стать пьяница Коля! Вот в этом утверждении многие и усматривают парадокс.

Ошибка тут в том, что люди вспоминают о первом постулате Эйнштейна совершенно напрасно. Дело в



Парадокс близнецов. «...А ты почти такой же молодой в продольном направлении!»

том, что первый постулат, хоть и, действительно, говорит о равноправии систем отсчёта, но делает это только для инерциальных систем отсчёта. Он явно подчеркивает, что распространяется ТОЛЬКО на инерциальные системы отсчёта (ИСО). Напомним, что ИСО — это такие системы отсчёта, которые связаны с телами, не испытывающими действия сил, то есть не подвергающимися ускорениям, а движущимися равномерно и прямолинейно (другими словами — покоящимися). Только в этих системах справедлив второй постулат об инвариантности скорости света, следовательно, только в них справедливы преобразования Лоренца, выведенные из второго постулата. В итоге замедление времени у Коля для Юры действительно будет иметь место — но только на тех участках пути, которые он летел равномерно-прямолинейно, то есть после разгонов и до торможений.

Пытливый и незашоренный ум ниспровергателя СТО в этом месте может заметить: но ведь с точки зрения Юры в его координатной сетке это не он ускорялся, а Земля ускорялась, так что опять-таки можно говорить о равноправии СО. Но это не так. В отличие от состояния равномерного прямолинейного движения, которое является относительным, то есть невозможно экспериментами установить для двух тел, двигающихся друг относительно друга, какое именно движется, а какое именно покоится — сама постановка вопроса бессмысленна, — так вот, в отличие от этого, состояние ускорения НЕ относительно. Состояние ускорения легко обнаруживается опытами. Его легко почувствовать на себе в кресле ракеты по эффекту вжимания в это самое кресло. Юра будет отчётливо ощущать силу, вжимающую его в кресло в момент старта ракеты. Коля же в этот момент времени никакого вжимания чувствовать не будет. Никакого равноправия у их систем отсчёта при этом нет. **Ускоряется** именно Юра, а не Коля (хотелось бы заметить, что имеется в виду инерционное «вжимание», гравитация же одинаково вжимает обоих братьев в то, что под ними и в момент старта ракеты, и некоторое время после).

Большинство объяснений парадокса близнецов на этом останавливается. Мы выяснили, что СО близнецов были неравноправными — вот это неравноправие и выразилось в том, что один из близнецов постарел. На этом ставится точка. Часто замечают при этом, что рассмотреть мир глазами неинерциальной системы отсчёта (неИСО) может только ОТО, а СТО в них неправомерна. Доходит даже до утверждений, что неИСО в СТО рассмотреть невозможно вообще, иначе она превратится в ОТО. Но это уже устаревшая точка зрения, ОТО — это теория, расширяющая СТО до рассмотрения эффектов гравитации, и она довольно остроумно подводит неИСО под мнимое гравитационное поле, что легко, без изменения матаппарата, рассматривает неИСО-вость. Тем не менее, возможно, оставаясь полностью в рамках СТО, разработать матаппарат неИСО-вость без привлечения идей ОТО. То, что получается — тоже ненамного проще, чем формулы ОТО, но всё же попроще (и, кстати, местами очень похоже). И тоже полностью объясняет парадокс близнецов глазами Юры.

Так что же там происходит у Юры, когда он разгоняется/тормозится, то есть в те моменты, когда его СО является неИСО? Если вспомнить про относительность одновременности, вспомнить, что если системы отсчёта двигаются относительно друг друга, то события в них «рассинхронизированы по времени», вспомнить, что пока ракета ещё стояла — рассинхронизации не было, а когда она уже летит (после ускорения) — рассинхронизация уже имеет место, то становится понятно, что именно в момент ускорения и происходит процесс рассинхронизации. Если замостить всё расстояние до звезды синхронно тикающими часами, показывающими одно и то же время, пока ракета стояла, и начать разгоняться, то часы впереди направления ускорения начнут тикать быстрее, и тем быстрее, чем больше до них расстояние. Те часы, которые находятся сзади, начнут тикать медленнее, и тем медленнее, чем они ближе к основанию клина Риндлера. А за основанием клина начнут тикать ускоренно назад, и тем быстрее, чем дальше от них расстояние.

Вот и готово объяснение. В те моменты времени, когда Юра стартовал с Земли и когда он будет в конце эксперимента на ней тормозиться, расстояние до Земли будет нулевым, и эффекты неИСО-вость (рассинхронизации) заметны не будут. Но в те моменты, когда он будет тормозиться у звезды и ускоряться по направлению к Земле (ускорение в обоих случаях направлено на Землю), часы на Земле для Юры стремительно промотаются вперёд — как раз в сумме на эти два года, с поправкой на десять минут.

Парадокс интересен тем, что заставляет всё-таки рассматривать эффекты неИСО-вость, оставаясь в рамках более простой, чем ОТО, специальной теории относительности. Это на самом деле забавно, так как в эффектах неИСО-вость можно наблюдать такие страшные вещи, как горизонт событий, о котором мы знаем из ОТО по чёрным дырам.

Быдло и школота из этой секции тоже может сделать полезный для себя вывод: Коля постарел не потому, что он пил, курил и шлялся, так что никакого вреда эти вещи возрасту не несут. Так поднимем же за это стаканы!

Парадокс диска

Рассмотрим велосипедное колесо, которое крутится с большой скоростью. Каждый элемент спицы движется перпендикулярно своей длине и сокращения в продольном измерении не испытывает. Значит, не испытывает сокращения и вся спица. С другой стороны, каждый элемент обода движется вдоль своей длины и сокращается. Таким образом, отношение длины окружности к её радиусу меняется.

Разгадка в том, что каждый элемент колеса движется ускоренно, и СТО тут малоприменима. В ОТО же непостоянность числа π совершенно **нормальна**. ЧСХ, как и с парадоксом близнецов, парадокс диска может быть разрешен и в рамках СТО, в этом случае — путем хитрых манипуляций с геометрией

пространства-времени. Парадокс был сформулирован неким [Эренфестом](#) в 1910 году. Но знатный троллинг Эйнштейна долго не продержался, к 1916 году тот запилил ОТО, где парадокс разрешается естественным образом.

Парадокс Альфы Центавра

Командир космического корабля перед стартом видит [Альфу Центавра](#) на расстоянии четыре световых года. Корабль взлетает, летит очень быстро и, благодаря сокращению расстояния, постаревший на год командир видит ту же самую Альфу Центавра на самом кончике своего носа. Значит, средняя скорость сближения корабля и звезды была четыре скорости света.

Это даже не парадокс, а неожиданное и забавное свойство СТО. Скорость, измеренная по расстоянию в покоящейся СО и времени в движущейся СО, — так называемая «собственная скорость» — вполне может быть больше скорости света, СТО говорит лишь о случае, когда и расстояние, и время измерены в одной СО. Более интересным является вопрос, какую скорость сближения видел капитан корабля в процессе полёта (перед решением надо уточнить вопрос, каким образом он измерял расстояние до звезды), и как эффект Доплера сказался на цвете Альфы Центавра.

Это свойство СТО имеет интересный вывод: колонизация космоса в принципе всё-таки возможна, но будет выглядеть совсем не так, как показано в звёздных войнах. Дело в том, что с точки зрения Земли, запускающей колонизационные корабли в космос, они никогда не превысят скорость света, и ждать каких-то результатов экспедиций или колонизаций придётся сотни/тысячи/миллионы/миллиарды лет, смотря куда лететь. Но вот с точки зрения экипажа корабля им вполне по силам достичь самых удалённых галактик за вполне разумное собственное время — никаких миллионов лет, а очень даже быстро — в зависимости от мощности двигателей (правда, такие ещё не изобрели) можно и за десять минут долететь до ближайшей звезды, позаботившись только о том, чтобы ускорение не расплющило всех в лепёшку на борту — это уже технические задачи. Ведь ускоряясь, ракета попадает в такой срез пространства Минковского, где расстояние до далёких звезд резко сокращается (сокращение длин по Лоренцу) и лететь остаётся всего ничего.

Таким образом, складывается интересная ситуация: отправлять колонизационные корабли к самым далёким уголкам галактики, в принципе, возможно, ракета вполне себе долетит, а не истреплется за миллионы лет, так как время на ней для Земли замедлено, в том числе и процессы коррозии обшивки и старения экипажа, но вот дожидаться результатов колонизации для Земли уже будет очень проблематично. Вкратце: отправить колонизировать — можно, а дожидаться результатов — затруднительно (очень красочно описано в истории консула почти в самом конце «Гипериона» Дэна Симмонса, а также очень хорошо раскрыто в «Тау Ноль» Пола Андерсона, где команда звездолёта так пролетела до коллапса Вселенной и прилетела в новорожденную Вселенную.) Парадокс близнецов — описание этой ситуации на малых расстояниях.

Но есть другая проблема: дело в том, что космос пронизан огромным количеством всяких излучений высоких энергий, радиацией, быстрыми электронами, межзвёздными газами и злобными инопланетянами. И если среди крупных объектов маневрировать на малых (сокращённых) расстояниях уже очень сложно, то от излучения вообще никуда не свернуть. Так что на больших скоростях и при хорошем сокращении расстояний даже фоновое [реликтовое излучение](#), благодаря эффекту Доплера, превратится в адскую баню, сжигающую все известные науке материалы. А космическая пылинка на таких скоростях превратится в атомную бомбу.

Следует отметить, что этот «парадокс» имеет вполне наблюдаемое и измеримое проявление в реальном мире. В космических лучах обнаружены короткоживущие частицы — мюоны. Мюоны летят к нам от далёких звёзд... Нет, не летят — это миф. Все мюоны образуются в атмосфере: протон первичных космических лучей сталкивается с ядрами газов, выбивается п-мезон, который тут же (время жизни [нано-секунды](#)) распадается с образованием мюона. А мюоны слабо взаимодействуют с веществом, летят до поверхности Земли и, даже, немного под землю. Фишка в том, что если умножить время жизни мюона (~ 2 мкс) на скорость света ($3 \cdot 10^8$ м/с), то получится всего 600 метров, а образуются они гораздо выше: характерная высота 20 километров.

Мюоны в космических лучах обнаружили в 30—40-х годах прошлого века, особого фурора увеличение их времени жизни не произвело — очередное предсказанное следствие СТО.

Вообще же замедление времени подтверждено и на малых скоростях, и на больших, и «на средних» — и в опытах с атомными часами, пущенными в самолётах, и опытами на ускорителях, где разогнанные до субсветовых скоростей частицы в десятки раз увеличивают «своё время жизни» с точки зрения нас, и в [опытах с ионами лития](#) при скорости, равной 6% от скорости света.

Парадокс подводной лодки

Мысленно представим себе подводную лодку, плывущую со скоростью, близкой к скорости света. Тогда, согласно специальной теории относительности, с точки зрения наблюдателя на берегу, длина лодки должна уменьшиться, плотность — увеличиться, и лодка начнет тонуть. Но с точки зрения капитана лодки, наоборот, сжимается и становится более плотной вода, а лодка должна всплывать на поверхность.

Этот парадокс неразрешим в рамках специальной теории относительности, которая не учитывает действие гравитации.

Парадокс Белла

В лабораторной ИСО разместим на некотором расстоянии L две абсолютно одинаковых ракеты, изначально покоящихся, с синхронизированными часами. Пусть капитаны обеих ракет выполняют одинаковое задание: в 12:00 по Москве (этот момент времени в ИСО и ракетах будет одновременным) включают двигатель своей ракеты на одну и ту же мощность, и по прошествии пяти минут по своим часам их отключат. Одна ракета летит вслед за другой.

Рассматривая эксперимент из лабораторной ИСО, нетрудно установить, что пути обеих ракет будут абсолютно идентичными — моменты включения и выключения двигателей совпадут, траектория пути будет идентичной, следовательно, до разгона, во время разгона и по окончании разгона расстояние между ракетами всегда будет равно L — первоначальному расстоянию между ракетами.

«А как же Лоренцево сокращение длин?!» — возмутится обыватель. «Ведь вот, была система из двух ракет, она разогналась до скорости V в лабораторной ИСО, следовательно её длина по Лоренцу должна сократиться, то есть расстояние между ракетами должно уменьшиться!»

Для придания последним словам физического смысла ракеты связывают предельно натянутой веревкой, которая порвётся, если растянуть её (в собственной ИСО веревки) длиннее L и задаются вопросом: «[порвётся или не порвётся?](#)».

Ответ — порвётся: одновременность старта ракет, троса, частей ракет и молекул частей ракет в ИСО приведёт к неодновременности старта всего этого хлама в равноускоренной СО. Так что на все части системы будет действовать «разрывная сила» aka приливная сила эффективного гравитационного поля, aka разность гравитационных потенциалов. Впрочем, холивары идут до сих пор, в чём можно убедиться на Педивикии.

Лулз в том, что эффект может порвать не только трос, но и космический корабль ненулевой длины, а порвёт или нет — годный вброс для научного срача.

Общая теория относительности

«В которой читатель, прельщаемый гаремом очаровательных теорий гравитации (и некоторых не таких уж очаровательных), спасается от своих безрассудных страстей благодаря множеству экспериментов и остаётся верным своей преданной супруге Геометродинамике, клянётся вести впредь честную жизнь и становится истинно верующим »

— Вступительные слова к 9 части священного 3-томника «Гравитация» Торна, Уилера и Мизнера

И снова проблема

Разработав СТО и превосходно описав в её рамках базовую механику и электродинамику, Эйнштейн, однако, снова столкнулся с вопросом: «что за фигня?». И фигня эта была в гравитации. Уж и ёж опять показали свой звериный оскал: СТО решительно отказывалась скрещиваться с гравитационными силами. [Принудить зверьков к спариванию](#) малой кровью не удалось. Чтобы побороть проблему, Эйнштейну пришлось на протяжении семи лет насиловать свой мозг и разработать чудовищно сложную теорию гравитации, называемую Общей Теорией Относительности. Скрывается она под вот этим матаном:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Суть проблемы

По старичку Ньютону гравитация описывалась как полевое силовое взаимодействие: каждый объект, имеющий массу, порождает вокруг себя силовое гравитационное поле, которое действует силой притяжения на прочие тела, обладающие массой. Важный момент тут в том, что гравитация — это сила. И тут свет снова начал выёбываться: он опять не укладывался в картинку (за что боролись, на то и напоролись). Свет же был электромагнитной волной, то есть полевой структурой, не обладающей массой, то есть сила тяжести по Ньютону просто не могла на него действовать: нет массы — нет и силы, которая могла бы на массу действовать. А если бы сила тяжести не действовала на свет, то лесом пошли бы законы сохранения.

[Создание общей теории относительности - Игорь Волобуев](#)
Создание общей теории относительности

«Да когда же хрень, наконец, исчезнет?!» — возопил про себя Эйнштейн и опять принялся думать. (спойлер: Дочитавшим до этого места рекомендуется повторить.)

Гравитация такая гравитация

«А ведь гравитация — довольно странная штука», — додумался в какой-то момент Эйнштейн. И были все причины так полагать. С давнего времени учёных сильно интересовал один вопрос: «почему гравитационная масса совпадает с инертной?». Ещё Галилей (по легенде) измерял время падения двух тел разных масс с верхнего этажа Пизанской башни до уровня земли; однако точно известно, что он измерял время качения двух шаров по наклонной плоскости, и в пределах погрешностей эксперимента эти два тела одновременно касались земли. Получается, что тела, обладающие разной массой, падают в гравитационном поле ровно с одним и тем же ускорением. Ньютон зафиксировал этот факт в своих уравнениях так, что масса тел входит в формулу силы тяжести, и, когда речь заходит об определении пути, пройденного телом в поле гравитации, его масса просто сокращается в числителе и знаменателе и не участвует в расчётах. То есть,неважно, какие массы у падающих в поле тяжести тел — при одинаковых начальных условиях они будут двигаться абсолютно идентично.

«А ведь это очень не похоже на действие обычной силы, — подумал снова Эйнштейн. — Ведь сила тем меньше действует на тело, чем больше его масса. Ну по самому определению. Что-то тут явно не так!». Воспалённый гениальностью мозг сделал ещё один головоломный кульбит и задал самому себе эпичный вопрос, из которого всё и выросло: «а есть ли сила?»

Мысленный эксперимент с лифтом

«Крайтон: — При чём здесь теория относительности? Мы с вами опровергаем её каждый раз, когда ходим в булочную! »

— *Farscape*

Как мы узнаём, что на нас действует сила? Это довольно легко обнаружить: например, сидя в разгоняющейся машине, мы явственно чувствуем, как нас вжимает в кресло. Когда мы уже разогнались и едем равномерно и прямолинейно — ничего нас в кресло не вжимает. Проезжая по идеально гладкой дороге, мы чувствуем себя ровно так же, как если бы машина стояла неподвижно (разве что с работающим двигателем) — никаких отличий нет. То, что нет никаких отличий, находит своё выражение в равноправии инерциальных систем отсчёта: при равномерном прямолинейном движении все процессы и законы протекают абсолютно одинаково, невозможно поставить физический эксперимент, который смог бы отличить одну ИСО от другой. Что мы будем чувствовать, если нас поместят в ИСО? А чувствовать мы будем невесомость — нас не будет тянуть ни в какую сторону ни с каким ускорением: висим себе неподвижно на месте и висим.

«Как странно, — заметил Эйнштейн. — Ведь если поместить человека в свободно падающий лифт, он как раз будет чувствовать невесомость. То есть не сможет, не выглядывая из лифта, определить, падает он свободно в гравитационном поле или висит неподвижно (движется равномерно и прямолинейно) глубоко в космосе вдали от всяких гравитирующих масс». Станным вышло и другое: если лифт в гравиполе зафиксировать, застопорить на этаже, то человек в нём будет чувствовать себя так, как будто на него действует ускорение. То есть, проводя физические эксперименты внутри лифта, он находил бы их результаты в точности такими же, как если бы он двигался под действием ускорения в далёком космосе вдали от гравитирующих масс: его будет вдавливать в пол кабинки некая сила, подобно тому как вдавливают нас в кресло ускоряющегося автомобиля.

«Но если свободно падающую в гравиполе систему отсчёта невозможно физическими экспериментами отличить от движущейся равномерно и прямолинейно (инерциальной), то может быть она и движется равномерно и прямолинейно (является инерциальной)?» — задал себе вопрос Эйнштейн и был, как всегда, чертовски сообразителен.

Искривление пространства-времени

Никто из физиков спокойно не может объяснить, почему, когда они рисуют на бумаге иллюстрацию к идее искривления пространства вокруг тел с больш-о-о-й массой, то они рисуют пространство плоским, а шарики всегда продавливают это пространство вниз, как будто у космоса есть «верх» и «низ».

Когда эту же картинку переворачиваешь «кверху ногами», т.е. меняешь положение наблюдателя в пространстве, то картинка получается совсем идиотской (шарики в клоунских шляпках), что сильно раздражает сторонников теории искривления пространства.

— *Из высера безвестного коммуниста*

«Стоп, стоп, стоп! — возразит на этом месте здравомыслящий обыватель. — Как это? Тело, свободно падающее в гравиполе, никак не может двигаться равномерно и прямолинейно! Это легко доказать, кинув камень под углом к горизонту: траектория его полёта будет далека от прямолинейной, а движение — от равномерного, это же очевидно!». Эйнштейну было до пизды, что там видно, и насрать на обывательское

здравомыслие. Раз никакие приборы в теле не могут отличить свободное падение от равномерного прямолинейного движения, значит, оно и есть равномерное прямолинейное! Но почему же тогда в итоге мы наблюдаем кривую линию полёта?

Неизвестно, была ли сама концепция целиком спизжена Эйнштейном у Римана, который творчески развил Лобачевского, или он допёр до основ самостоятельно, а проработкой математики просто воспользовался, но однозначно то, что математику подобного вопроса разработали именно Риман-Лобачевский ещё задолго до Эйнштейна. Такое расчудесное чудо может иметь место, если искривлена не траектория полёта камня, а искривлено само пространство-время, в котором камень движется. Такое пространство называется уже пространством Римана и представляет собой более жёсткую вещь, чем пространство Минковского. Тут следует напомнить, что когда к Эйнштейну начали присматриваться санитары из ближайшего дурдома, он смог снять с себя все подозрения в психозе, сославшись на математику Лобачевского, чем объяснил психиатру, что у математиков уже давно принято пороть такую вот муть, и стационарного лечения ему не требуется.

Что значит искривлено?

Туманная аналогия.

По поверхности яблока ползут два муравья. Каждый из них равномерно перебирает лапками, целеустремленно двигаясь вперёд и никуда не поворачивая. Муравьи начали движение из одной точки яблока в разные стороны. Через какое-то время они могут с удивлением обнаружить, что их пути пересеклись, хотя они и начинали ползти в разные стороны равномерно и прямолинейно.

Примерно подобным образом выглядит путь камня, брошенного под углом к горизонту: несмотря на то, что он разошёлся с поверхностью Земли в начале полёта, несмотря на то, что он весь полёт двигался равномерно и прямолинейно, как и Земля, их пути в какой-то момент снова пересекаются в искривлённом четырёхмерном пространстве-времени: камень падает на Землю.

Другая туманная аналогия.

Берём резиновую ~~бабу~~ мембрану (идеально — очень тонкий презервативный латекс), натягиваем параллельно земле (сорри за рекурсию, зато эксперимент сможет повторить кто угодно). Кладем в центр что-нибудь тяжёлое, например, апельсин. Мембрана прогнётся вниз. Собственно, мы и видим то самое искривление пространства, правда, двухмерного, но суть от этого не меняется. Если теперь равномерно и прямолинейно [запустить по мембране шарик](#) (желательно вымазав в краске, чтоб траектория отпечаталась), то его траектория будет на мембране нифига не прямолинейной, а искривлённой. Можно даже добиться эффекта спутника, когда шарик будет кататься вокруг апельсина в центре и в итоге на него «упадёт» (силу трения никто не отменял). А если катнуть шарик из центра (от апельсина) под небольшим углом к касательной, то получим как раз нашу любимую баллистическую кривую из предыдущего примера.

Данный пример до кучи иллюстрирует и искривление пространства самим мелким шариком (под его весом мембрана тоже прогнется, но намного меньше).

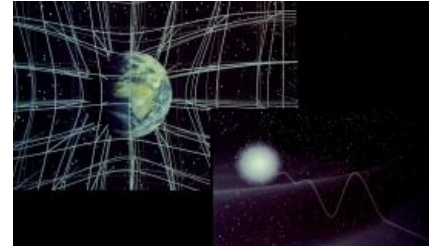
А двойную звезду легко себе представить, запустив два больших шарика (апельсин слишком плохо катается) навстречу друг другу параллельными курсами. При правильном подборе начальных скоростей они начнут вращаться вокруг одного «центра тяжести». Таким образом, этот пример является плоской иллюстрацией искривления пространства гравитационным полем.

Чтобы представить это искривление в объёме, достаточно мысленно представить не прогнувшуюся мембрану, а некое поле, которое имеет большую плотность у шарика и рассеивается во все стороны (то есть следует оперировать не глубиной, а плотностью).

И так далее, у кого на что фантазии хватит.

Стоит заметить, что аналогии действительно туманные. В примере с презервативной мембраной на тела, которые по ней катятся, всё-таки действуют реальные физические силы (реакция опоры). В примере с яблоком двумерная поверхность плода вложена в привычное трёхмерное пространство, и можно тоже сделать ложные выводы. Искривлённое пространство же никуда не вложено и не действует никакими силами. Просто в нём кратчайшее расстояние между двумя точками может отличаться от прямой линии, а параллельный перенос отрезка по замкнутому контуру легко может не совпасть с исходным отрезком.

Что же искривляет пространство и время? Согласно ОТО, его искривляет наличие в нём массы (более точно — энергии-импульса). Наличие массы делает с пространством такую вещь, что расстояние между двумя точками меняется со временем (тоже туманная аналогия, ибо пространство и время ещё и взаимосвязаны, как в СТО, и довольно трудно говорить: «пространство меняется со временем», для этого надо вводить систему координат и строить изохронные сечения — мозги сломать как нехуй делать).



Искривление пространства вокруг этой планеты. Чем-то напоминает [Пинхеда](#).

[Gravity Visualized](#)
Как это выглядит.

Таким образом, лучик света, пролетая мимо массивного тела:

1. Не испытывает действия никаких сил и летит равномерно и прямолинейно.
2. Но расстояние между ним и массой меняется из-за наличия искривляющей пространство-время массы, что приводит к тому, что путь света как-то отклоняется от прямой линии.

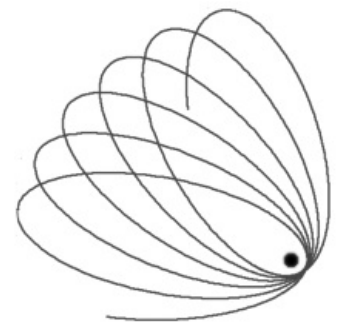
Такая пертурбация элегантно расправилась с проблемой света в гравиполе и с вопросом «почему все тела падают в нём с одинаковым ускорением, независимо от массы». А именно: никакого падения нет, просто пространство искривлено — двигаясь в нём равномерно и прямолинейно, при одинаковых начальных условиях, тела полетят одинаково. Действительно, никакой зависимости от массы равномерное прямолинейное движение не имеет, а то, что пространство-время искривлено — ну тут уж, извините, никто не обещал, что будет просто.

Эффекты, предсказанные ОТО

- Гравитационное отклонение света в ускоренной системе отсчёта. В частности, эффект гравитационного линзирования возникает тогда, когда между наблюдателем и источником света находится массивный объект. В результате этот объект чем-то напоминает линзу, гравитация которой изменяет направление распространения электромагнитной волны. Самый известный пример — [Крест Эйнштейна](#). Свет от квазара расщепляется и отклоняется расположенной ближе к нам галактикой, в результате чего мы видим не одно, а четыре изображения одной и той же хуйни. Типа как луч фонарика, пропущенный через гранёный стакан с водкой. Только преломление — не преломление, а гравитационное отклонение.
- Гравитационное красное смещение света. Частота света будет уменьшаться (то есть линии спектра будут смещаться к [красному концу](#)) при выходе из гравитационной ямы наружу (то есть при удалении света от чего-то ооочень тяжёлого). Это смещение было обнаружено в спектрах звёзд и Солнца и подтверждено в [каком-то там эксперименте](#).
- Геодезическая прецессия. Эффект состоит в том, что ось вращающегося тела (планеты) сама вращается и не потому, что действуют там какие-то силы. Просто потому, что время-пространство у нас кривое. Впрочем, прецессия планет была известна ещё при Кеплере, и объяснялась именно воздействием внешних сил, меняющих направление момента импульса. Только пока её абсолютная величина рассчитывалась по Ньютоновской модели, результаты не очень-то хотели сходиться с реально наблюдаемой картиной, хотя в целом давали довольно похожий результат. Формулы же ОТО в пределах точности измерений полностью совпали с наблюдениями.
- Прецессия перигелия планетных орбит. На картинке чёрная точка — Солнце. Эллипсы — орбита планеты. Величину прецессии на бумаге вывел Эйнштейн, что потом совпало с наблюдаемой прецессией перигелия у Меркурия. «Аномальная прецессия перигелия Меркурия» — одна из «мелких» задач конца XIX, мешавшая построить полностью готовое здание физики.
- Предсказано существование гравитационных волн. До определённого момента были только косвенные доказательства из надёжных наблюдений за двойными звёздами и двойными пульсарами, такими как [PSR B1913+16](#) или [PSR J0737-3039](#). Но 11 февраля 2016 года мегамозги из [LIGO](#) объявили о [первом прямом наблюдении гравитационных волн](#), за что уже в 2017-м им дали Нобелевку.
- Гравитационная задержка сигнала (эффект Шапиро). Из-за этого эффекта в поле тяготения электромагнитные сигналы идут дольше, чем в отсутствие этого поля. Эффект подтверждён.
- Гравитационное замедление времени: чем глубже часы в гравитационной яме (то есть чем ближе к чему-то очень большому и очень тяжёлому), тем медленнее они будут идти. Эффект подтверждён экспериментом Паунда-Рёбки. Влияние эффекта учитывается в работе этих ваших GPS и [ГЛОНАСС](#).



Четыре голубеньких пятна на самом деле один квазар, расположенный позади какой-то там галактики. Этот объект называется [Крест Эйнштейна](#).



Прецессия перигелия орбиты

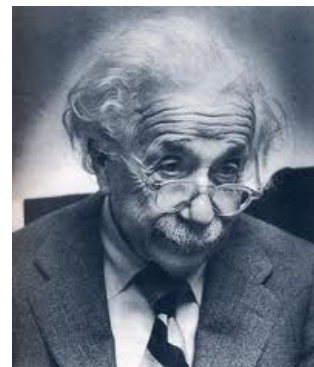
Для глобального позиционирования и определения времени GPS использует точные и стабильные атомные часы как в своих спутниках, так и на земле ... Должны учитываться следующие релятивистские принципы и эффекты: постоянство скорости света, принцип эквивалентности, [эффект Саньяка](#), замедление времени, гравитационный сдвиг частоты и принцип относительности синхронизации.

- Чёрные дыры — [аж отдельная статья](#).

Роль СТО в рамках ОТО

Являясь предельным случаем Общей теории относительности, СТО довольно неплохо описывает процессы, если силами гравитации можно пренебречь. Другими словами, при отсутствии значимо гравитирующих масс искривленное пространство-время Римана вырождается в плоское пространство-время Минковского.

Опровергатели и отрицатели



Алик ехидно взирает на критиков СТО... Ну, вы понели.

«Если что-то глупо, но работает, то на самом деле это не глупо. Это просто у вас не хватает мозгов понять, что это умно. »

— *Законы Мерфи*

Теория относительности — это в первую очередь теория, а не техническая документация о сотворении мира, справедливая в последней инстанции. Теория эта частично подтверждается опытами, а частично опровергается. И если она опровергается, или этого не существует, то это уже фантазия. В соответствии с экспериментальными данными те или иные аспекты теории дорабатываются или переосмысливаются. Да-да, прямо сейчас, а не сотню лет назад на столе у автора.

Быдло если и слышали о ТО, то считают её слишком сложной и **неинтересной**, поэтому не критикуют. Впрочем, расовая **еврейскость** Эйнштейна не даёт покоя **антисемитам**.

Школота старших классов и **студентота** младших курсов, которые из буйных, критикуют СТО. Собственного говоря, СТО находится в довольно уникальном положении по сравнению с остальной продукцией научной мысли. Не она одна подвергается «нападкам», но она одна — столь остро и отчаянно. С одной стороны, она еще достаточно проста в своих высказываниях и формулах, чтобы быть понятой старшеклассником. Но уже настолько противоречит бытовой интуиции, что при поверхностном ознакомлении чувство «да тут всё белыми нитками же шито!» просто гарантировано. Часто сваливаются в критику по шаблону: «Все свои неверные теории расовый ЕРЖ Эйнштейн украл у своей жены, расовой славянки-сербки, и у расового голландского хрена — Лоренца». К критике ОТО неспособны, ибо тензорное исчисление за гранью понимания критиков.

Офисный планктон иногда всё же сталкивается с упоминаниями о том, чем живёт наука в наши дни, и, как правило, впадает в **ступор мозга** от попыток осознать современное состояние науки **на самом деле**.

Многие **сильно комплексуют** по поводу того, что Лукас не только соврал в своём культовом **кинофильме** насчёт **звука имперских истребителей в вакууме**, но и вообще — что сама идея звёздных перелетов в Звёздных Войнах далека от реальности. По СТО, отправив звездолёт в соседнюю галактику, мы хуй когда дождемся его возвращения — только нашим глубоким пра-пра-пра-...внукам может выпасть такое счастье, ибо двигаться быстрее скорости света звездолёт не сможет, а до ближайшей к нам галактики Большое Магелланово Облако ни много ни мало 157 тысяч световых лет. Что уж говорить о фокусах-покусах со временем и пространством, которые никак не укладываются в мозги среднестатистического человека?

Некоторые учёные уже давно заебались **перетирать в ступе одно и то же** со **всякой** критикующей **публикой**, потому оспаривание теории Эйнштейна они относят примерно туда же, куда и оспаривание законов сохранения — то есть в чёрный анал **торсионщины** и псевдонауки.

Впрочем, предпосылками для критики ТО (как и квантмеха) было не только желание сохранить традиционный материализм и **детерминизм**, но и полное расхождение теории с интуитивным восприятием

сего мира большинством людей, из чего вытекает непрерывное желание найти среду для распространения волн света — эфира. Впрочем, Эйнштейн позднее сам предлагал снова вернуть в науку эфир, но уже **далеко не в том** смысле. Он просто утверждал, что нелепо называть пространство, которое имеет столь много параметров для описания, вакуумом.

Наезды на СТО

СТО не была принята «на ура» сразу же, как только была опубликована. Даже Лоренц, хотя в своих лекциях читал про матан СТО, который сам же и придумал, но интерпретацию Эйнштейна не разделял и до конца жизни верил в эфир. Так называемые парадоксы СТО тоже были придуманы в десятых-двадцатых годах прошлого века для троллинга новой теории, причем примерно в это же время и были разрешены. Отрицали-критиковали СТО немало винрарных для своего времени учёных: Тесла, Жуковский, Ленард, Штарк, Дж.-Дж Томсон.

Отдельного внимания заслуживает критика в среде **советских** учёных. Ввиду того, что некоторые особо одарённые представители дорелятивистской физики и советской философии увидели в ТО чертовщину и якобы противоречие с ньютоновской механистической определённой мира и материализмом (хотя никаких предпосылок для подрыва материализма сам Эйнштейн или его труды не давали), груб-материалисты и поддержавшие их **за компанию** партийные коммунисты стали **опасаться** этого и принялись на всякий случай поносить ТО или отдельные её аспекты на чём свет стоит. Особо выделился в этом некто **Тимирязев**, отрицавший также и квантовую механику; **самоучка из Калуги** отвергал релятивистскую космологию и ограничение на скорость движения, подрывавшее его планы по заселению космоса [3];

Немалое количество **философов** сделали академическую карьеру на критике современной физики: так, «специалист» по **философским проблемам** естествознания **Омельяновский** написал аж несколько монографий по поводу и стал-таки академиком АН УССР и член-корреспондентом АН СССР. Некто, **А. А. Максимов**, член-корреспондент АН СССР и профессор философского факультета МГУ, выступил против реакционных измышлений Эйнштейна аж в 1952 году в газете «Красный космический флот», в связи с чем попавшие под раздачу физики деликатно обратились к **Лаврентию Павловичу**... Который, кроме того что был начальником кровавой гэбни, по совместительству являлся руководителем **атомного проекта**. Более подробно об истории взаимоотношений физиков и философов, физиков и партии и физиков между собой можно почитать в книге А. С. Сониной «Физический идеализм: история одной идеологической кампании».

Проблемы ОТО ...

В отличие от СТО (в своих условиях применимости), Общая Теория Относительности имеет ряд незакрытых проблем. Из-за этого она является более уязвимой для критики, чем СТО, и даже сам Эйнштейн был этими вопросами недоволен и после разработки ОТО пытался разработать так называемую «Единую Теорию Поля», которая бы описывала вообще всё-всё, но **жуй там** успехов так и не добился.

Проблема энергии

Есть в ОТО такая проблемка: энергия не сохраняется, вернее сохраняется, но только после хорошего финта ушами. Проблема в структуре уравнений Эйнштейна:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

Слева стоит кривое пространство, оно же — гравитационное поле. А справа — энергия-импульс, она же — материя. Соль в том, что справа нет гравитационного поля, потому что гравитационное поле всё слева. То есть вся энергия **распиливается** материей, а гравитационное поле остаётся «с бюджетом», хотя даже школата (надеюсь) помнит, что есть такая потенциальная энергия гравитационного взаимодействия, и кроме того чуть позже внезапно выясняется, что гравитационные волны таки переносят энергию, хотя и не могут этого делать. То есть крутится себе двойная звезда, гравитационные волны уносят от неё энергию, энергия уменьшается, а поток энергии всё равно ноль, как будто ничего и не было.

Нестыковочка с **квантмехом**

ОТО, в отличие от СТО, принципиально не стыкуется с другой общепризнанной теорией — **квантовой механикой**, описывающей процессы микромира. Да, да, да. Вы правильно поняли — уж и ёж никуда не делись и, **ехидно щурясь**, смотрят на физиков как на говно и по сей день.

... и их решальщики

Мейнстрим и маргиналы

Альтернатива ОТО тащемто должна удовлетворять очень жестким требованиям — при скоростях, близких к c , но малой гравитации, должна сводиться к СТО; при большой гравитации должна описывать эффекты ОТО не хуже ОТО; при малой гравитации и малых скоростях должна сводиться к механике Ньютона. А ещё должна что-то предсказывать, отличное от предсказаний ОТО, проверяемое экспериментом.

ВНЕЗАПНО, оказалось, что таких теорий **овердохуя**. Однако, несмотря на простоту формулировки ОТО в тензорах, за ней стоит зубодробительный матан, в альтернативных теориях — не менее зубодробительный, и проверять новый креатив на соответствие всем экспериментальным данным нет ни свободных физиков, ни свободных сотен нефти. Поэтому мейнстрим физической науки пошел другим путем, точнее — двумя другими путями:

- разработка теорий, которые так могут подружить ОТО с квантмехом и поставить точку в развитии теории всего. **Теория струн**, например. Там возникают свои геморрой, пока не решенные, а матан не только дробит зубы, но и скручивает мозг во всех предположительных 11 измерениях.
- постановка экспериментов, которые могут **опровергнуть** ОТО. Надо сказать, во-первых, что эффекты такие тонкие, что эксперименты требуют очень толстых сотен денег. А во-вторых, в 1999 году так поставили эксперимент, который опроверг ОТО — открыли ускоренное разбегание галактик. ИЧСХ, этот результат более элегантно вписался в ОТО, чем в альтернативные теории, просто вернули в уравнение член с космологической постоянной, введенный ранее Эйнштейном для обеспечения стационарности Вселенной и выкинутый Фридманом за ненадобностью. Обозвали это **темной энергией**, никто не понимает, что это за **НЕХ**, но уравнения работают.

Вот и получается, что ОТО остается общепринятой теорией, но не потому, что в неё свято верят, а потому, что никто не предложил ничего лучшего и более точного реально работающего, и эксперименты её не опровергли настолько, что лучше перейти к чему-то другому, чем поправить то, что есть. Однако, отдельным учёным-крученным не дают покоя лавры Эйнштейна и они продолжают пилить альтернативу. Таких иногда дразнят маргиналами, но не в том смысле, что они не бреются и шарятся по помойкам, а в том смысле, что находятся на границе бобра и зла, но ещё по эту сторону. Много бабла на проверку их креатива не дают, но как-то терпят, ибо в матане они секут, и в чем проблемы ОТО — тоже. В качестве примера можно привести **МОНД**, впрочем сейчас её всерьёз никто не рассматривает; среди **отечественных производителей** — **РТГ** Логунова. Вообще же, для прояснения методологических вопросов самих СТО и ОТО посвящённым читать Логунова даже полезно.

Эфиры

Находятся уже по ту сторону добра и зла. Пытаются **реанимировать** представления Лоренца об эфире. В этой стране кучкуются вокруг эфиродинамики **Ацюковского**. Впрочем, отдельные личности пытаются пилить что-то свое. Относительно матана: не могут решить системы из двенадцати диффузов, на которые распадается уравнение ОТО, но могут взять **закорючку** интеграл или порассуждать со знанием дела про аффинные преобразования. Из научной среды **пидорнуты** давно и навсегда, но иногда их публикации проскакивают в университетских изданиях.

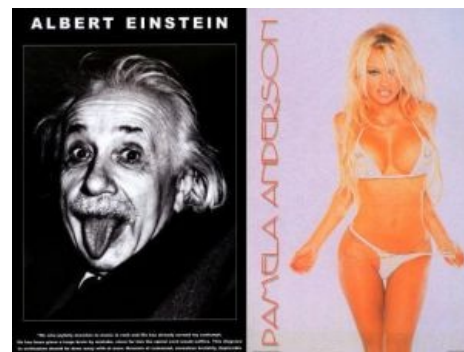
Злобучие фрики и сетевые сумасшедшие

Обещают нескончаемые источники энергии из сферического вакуума, полеты к звездам на технологии НЛО, телепортацию, уникальные военные технологии на торсионных полях, а в качестве бесплатного бонуса — решение всех вопросов мироздания. С матаном не дружат вообще, напроць. В **особо клинических случаях** отрицают отрицательные числа. К науке никогда не имели отношения, к научной среде питают **НЕНАВИСТЬ** и стремятся уничтожить, особый батхерт у них вызывает деятельность комиссии по лженауке. **Злобучие фрики** отличаются от относительно безобидных **сетевых сумасшедших** только одним: первые требуют денег, вторые хотят осчастливить человечество бесплатно. Первые — больше.

Значимость™

Вне зависимости от научных заслуг Эйнштейна, его заслуги в области пиара неоспоримы. Именно после Эйнштейна учёным стал считаться тот, у кого сумасшедшие глаза и дико нестриженная причёска. На стене **личной комнаты** почти любого американского **тинейджера** красуется два портрета — Эйнштейн с высунутым языком и Памела Андерсон с голыми **сиськами**. Причём, вместо Памелы могут висеть другие бляди, но вот Эйнштейн в данном случае — величина постоянная. Олдфакеры вспоминают, что среди советских школьников, особенно ботаников, в 1970-е годы тоже было труЪ повесить дома на стене возле своего учебного стола данную эпичную фотографию, но без приложения в виде сисек, однако к середине-концу 1980-х Эйнштейн стал непопулярен, сдал позиции и был заменён (не дополнен, а именно выпилен и заменён) сначала на разных Пугачёвых и рекламы совковых тачек в окружении камвхор, а позже на всяких Samantha Fox и других анонимусных пиндосовских голых сиястых баб из Playboy шушеры, что как бэ намекает нам на смену приоритетов.

Под влиянием ли **ZOG**, по собственной ли глупости, пиндосы так распиарили Эйнштейна, что для **рядового американца** он стал вообще чуть ли не единственным учёным, и его знает даже Ворд. Не верите? Проверьте.



Знал бы Эйнштейн, с кем он в конце концов рядом окажется... жутко бы собой гордился

В 2010 году в Пиндостане появилась реклама GMC Terrain с фоткой качка с головой Эйнштейна и татуировкой $E=mc^2$ на плече. Реклама стала сенсацией, а популярность Алика стала ещё выше (хотя куда уж выше — непонятно). Однако даже привыкшие немного соблюдать чужие права и много бороться за свои юристы из GM нехило удивились, когда... им предъявил счёт иерусалимский Еврейский университет, которому, как выяснилось, хитрый Эйнштейн завещал все права на свои работы и даже на собственный образ. Внезапно выяснилось даже, что использование его образа ежегодно приносит ЕРЖ порядка \$18 млн, что ставит Эйнштейна на четвертое место в списке самых прибыльных умерших знаменитостей. Вот так-то, школота, есть повод задуматься, кому подражать и кого делать кумиром — гопника Сашу Белого или самого знаменитого ботаника XX века.

IDEAS ARE SEXY TOO.



Ideas are sexy too, школота

АЛСО

Эйнштейн умирает и попадает на небо.

— Альберт, сын мой, ты жил праведно и много сделал. Есть ли у тебя какая-то просьба? — Господи, покажи мне формулу всего сущего! Щелчок пальцами, появляется доска исписанная формулами. Эйнштейн, изучая написанное: — Это еще Ньютон знал, это я знал, это похоже на правду... О, вот об этом я догадывался... Хм... Господи! По-моему, вот здесь у тебя ошибка! — Я знаю...

— Онегдот

В 1912 году немецкого физика (не теоретика!) Дж. Франка принимала кафедра физики в Пражском университете. Заканчивая беседу с ним, декан сказал:

— Мы хотим от вас только одного — нормального поведения. — Как? — поразился Дж. Франк. — Неужели для физика это такая редкость? — Не хотите же вы сказать, что ваш предшественник был нормальным человеком? — возразил декан... А предшественником Дж. Франка был Альберт Эйнштейн.

— Юрий Чирков «Охота за кварками»

Однажды во время какой-то пати у себя на даче Эйнштейн развлекал гостей игрой на скрипке. Один местный журналист из задних рядов, не полностью врубавшийся, спросил у соседа: «А кто же играет?», на что тот удивленно ответил: «Как?! Это же сам Эйнштейн!». На следующий день в местной газетенке ближайшего Мухосранска, в которой работал журналист, появилась заметка, что-де на вчерашнем приеме играл сам знаменитый скрипач Эйнштейн. Сам Эйнштейн вырезал заметку и повесил на стену, показывая на нее и говоря всем: «Вот! На самом деле я знаменитый скрипач!»

— Онегдот (исторический)

В настоящее время я уже не верю почти ничему из того, чему верил двадцать лет назад, если не считать таблицы умножения; но и в ней я начинаю сомневаться, когда читаю об Эйнштейне.

— Дейл Карнеги

См. также

- [Черная дыра](#)
- [Теория струн](#)
- [Большой взрыв](#)
- [Темная энергия](#)
- [Квантовая механика](#)
- [Когнитивный диссонанс](#)

Ссылки

- [Теория относительности для чайников 1 часть, 2 часть.](#)
- Книжка с картинками известного в [совке](#) популяризатора Мартина Гарднера «Теория относительности для миллионов». [4]
- [FOUNDATIONS](#) (eng.) — [теорминимум](#) от расового австралийского sci-fi писателя под [веществами](#) Грега Игана (Greg Egan). Позволяет [читателям](#) с ещё не законченным физ-мат образованием хоть

как-то разобраться в существовании [происходящего в его творениях](#). Затрагивает СТО, ОТО и основы квантовой механики, особый интерес представляют две части про ОТО, остальное можно найти в любом букваре.

Примечания

- ↑ Из уравнений Максвелла следует, что свет распространяется с некой скоростью c . Но относительно **чего** измеряется эта скорость, если эфир отменили? Эйнштейн дал удивительный ответ — относительно **всего**, относительно любой ИСО
- ↑ [Ландау](#) и [Лифшиц](#), авторы хардкорного [курса](#) теоретической физики
- ↑ Вообще измерить длину движущегося объекта можно двумя способами: либо отметить положение его концов в один и тот же момент времени и измерить расстояние между ними, либо встать на его пути, измерить промежуток времени между прохождением его начала и конца мимо наблюдателя и умножить на скорость. Эти измерения дают одинаковый результат, но второе работает правильно только тогда, когда тело движется равномерно и прямолинейно. А если это не так, то и первое измерение имеет сомнительную ценность.

$E = mc^2$

Матан

265 Science freaks Scorchер.ru Sherak TeX Xkcd Алекс Лотов Александр Никонов Андрей Скляр Артефакты Петербурга Атомная бомба Березовский Бесплезная наука Биореактор Блез Паскаль Большой адронный коллайдер Большой взрыв Британские учёные Бритва Оккама Бронников Вадим Чернобров Вассерман Великая тайна воды Великая теорема Ферма Миша Вербицкий Вечный двигатель Взлетит или не взлетит? Виктор Катюшик Виктор Петрик Владимир Жданов Высшая математика Геннадий Малахов Геометрия Лобачевского Гомеопатия ГСМ Двести двадцать Декарт Деление на ноль Детерминизм Дети индиго Дигидрогена монооксид Древний Египет/Клюква Евгеника Задача Льва Толстого Задача Эйнштейна Закон Мерфи Закон Парето Инженер Информационное поле Вселенной ИТМО Как поймать льва в пустыне Кари Байрон Карл Саган Квадратно-гнездовой способ мышления Квадратура круга Квантовая механика Клон Когнитивная психология Коробочка фотонов Корчеватель Кот Шрёдингера Критерий Поппера Кубик Рубика Лаборатория Лейбниц Леонардо да Винчи Луговский Лунный заговор Лысенко Льюис Кэрролл Любительская астрономия Мальтузианство Матан Матан/Элементарные частицы Межконтинентальная баллистическая ракета Метод научного тыка Мулдашев МФТИ Мэттью Тейлор Нанотехнологии Наука vs религия Научное фричество Научный креационизм Научный креационизм/Аргументация Неуместный артефакт Никола Тесла НЛП НМУ Олег Т. Омар Хайям Палата мер и весов Пентаграмма Григорий Перельман Переслегин Пик нефти Пирамидосрач Плутон Принцип Арнольда Простые числа Пушной



Числа

1 Guy 1 Jar 101-й километр 10:10 1111 12309 127.0.0.1 128 bit 13 14/88 1500 рублей 16 рублей 1917 1984 2 Girls 1 Cup 2 в 1 2000 2012 год 228 25-й кадр 265 28 героев-панфиловцев 282 статья 3,5 анонимуса 3,62 3605 3730 40 кг хурмы 410 42 640 килобайт 666 7:40 90% женщин — изнасилованы 95% населения — идиоты 9600 бод и все-все-все DotA In 5 Seconds IT'S OVER NINE THOUSAND! Leet Monkey Dust Nokia 3310 X86 Автомобильные номера Большой Пиздец/Предполагаемые даты БОЧ рВФ 260602 Веб 1.0 Веб 2.0 Великая теорема Ферма Восьмидесятые Вячеслав Мальцев Гет Двести двадцать Девяностые ДДБ1991ГР Деление на ноль Десятые Днепропетровские маньяки Жертвы пранка Закон Парето Звёздные войны Золотой миллиард Зона 51 Инфа 100% Йобибайт Квадратура круга Код Матан Миллиард расстрелянных лично Сталиным Мне 20 и я бородат Мытищи Нулевые Плюс 1 Полшестого Правило 34 Правило 63 Правило трёх секунд Проблема 2000 Простые числа Пятисемит Рулетка Семь чудес света Слава роботам Сотни нефти Стопицот Сырно Тёмная башня Теория относительности Три обезьяны Тринадцать миллионов педофилов Число Гама Число Эппёша Чуров Чуть более чем наполовину Эльф 80-го уровня

