



# EqWorld

## МИР МАТЕМАТИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ



[Начальная стр.](#) [Точные решения](#) [Методы](#) [Образование](#) [Об этом сайте](#) [Для авторов](#) [Информация](#)

[Образование](#) > [Выдающиеся математики](#) > [Релятивизм Пуанкаре предшествовал эйнштейновскому](#).

### Релятивизм Пуанкаре предшествовал эйнштейновскому

Рено де ля Тай\* (перевод с французского В.Ф. Журавлева)

Теория относительности, открытая в 1904 году, была признана научным сообществом, начиная с 1915 года. Никакая Нобелевская премия никогда за эту теорию присуждена не была. Причина понятна: тот, кто первым сформулировал принцип относительности, умер в 1912 году. Это был [Анри Пуанкаре](#).

В 1887 году физика была в тупике: опыт с интерферометром, поставленный Майкельсоном и Морли, не обнаружил тех эффектов, которые должны были бы иметь место в соответствии с тогдашними представлениями в науке. Эти представления таковы: Ньютон в 1687 году постулировал существование абсолютного пространства и абсолютного времени. Френель в 1820 году выдвинул волновую теорию света, в соответствии с которой распространение световой волны имеет место по отношению к бестелесной среде – эфиру, заполняющей все бесконечное пространство. Этот эфир представлялся межзвездной субстанцией наподобие тому, как воздух окружает нас в обыденной жизни. При этом он обладал жесткостью наподобие твердого тела и был легче любого газа.

Звездная абберация, кажущееся движение, открытая Бредли в 1728 году, объяснялась тогда результатом сложения скорости света со скоростью Земли относительно неподвижного эфира. В 1865 году Максвелл вывел уравнения, которые описывали распространение электромагнитных процессов в пространстве. Это распространение происходит со скоростью света; Герц в 1887 году показал, что и сам свет представляет собой электромагнитную волну. Оставалось подтвердить движение Земли по отношению к эфиру, который служит средой для распространения света. С этой целью и был поставлен эксперимент Майкельсона, в котором ничего обнаружить не удалось. Поэтому надо было предположить, что эфир увлекается Землей, но тогда необъяснимой оставалась абберация. Проблема казалась неразрешимой.

Именно в этот момент и вступили в игру крупный голландский физик Хендрик Лоренц и гениальный французский математик Анри Пуанкаре. Первый всемирно известен благодаря преобразованиям, которые носят его имя, второй в этой области известен значительно меньше. К счастью, бывший политеховец Жюль Левегль вот уже более двух лет занимается выяснением роли, которую сыграл Пуанкаре в генезисе работ, которые привели к отказу от концепций эфира в пользу преобразований четырехмерного пространства-времени.

**Формула  $E = mc^2$  принадлежит Анри Пуанкаре.** Он первым в истории науки заметил в 1900 году, что энергия излучения обладает массой  $m$ , равной  $E/c^2$ . Эта формула одинаково хорошо объясняет, как излучение звезд, так и энергию атомных станций.

Левегль опубликовал результат своих исследований в апреле 1994 в ежемесячнике выпускников политехнической школы и мы встретились с ним после этого, чтобы лучше очертить работы Пуанкаре в критическую для физики эпоху с 1899 по 1905 годы.

Итак, в 1887 году отрицательный результат опыта Майкельсона привел к замешательству. Спустя пять лет Лоренц представил первые публикации по теории электронов, позволяющей упростить интерпретацию уравнений Максвелла. Несколько позже он ввел сокращение размеров движущихся через неподвижный эфир тел. Эта теория, опубликованная в 1895 году, содержала искусственный математический элемент, который сам Лоренц назвал "местное время".

Именно в этот момент на сцене появился Пуанкаре, вмешавшийся фундаментальным образом в дебаты по электродинамике движущихся тел. Анри Пуанкаре родился в Нанси в 1854 году, где закончил среднюю школу, поступив в 1873 году в Политехническую школу. Близорукий, левша, удивительно неловкий в обычной жизни, он уже в начале учебы рассматривался профессорами как "математическое чудовище".

Анри Пуанкаре был репетитором по математическому анализу в Политехнической школе, затем профессором математической физики и математической астрономии в Сорбонне, профессором теоретической электротехники в Школе телекоммуникаций и действительным членом Академии наук в 33 года. Он умер в 1912 году в возрасте 57 лет после операции. Его открытия в дифференциальной геометрии, в алгебраической топологии, в теории вероятностей, в функциональном анализе и в других областях позволили Жану Дьедоне, одному из основателей группы Бурбаки, сказать: "Гений Пуанкаре эквивалентен гению Гаусса и столь же универсален. Он превосходил всех математиков своего времени".

Его рассеянность и его отрешенность от житейских проблем были легендарными. Вследствие беспримерной щедрости он, приписывал другим открытия, которые сделал сам. Его репутация в среде математиков была всеобщей. Над решенной им проблемой трех тел бились самые выдающиеся математики. Предложенное решение позволило сделать далеко идущие выводы и открыть новые разделы анализа, как например, стохастизация в динамических системах. Он показал, не прибегая к помощи вычислительных машин, что траектории динамических систем могут иметь беспорядочное поведение в зависимости от начальных условий, что называется сейчас чувствительностью к начальным условиям в теории хаоса. Он показал, что точки пересечения траекторий с секущей плоскостью образуют разрывное множество, плотность которого в заданной области может быть описана в терминах теории вероятности. Тем самым он установил связь между детерминизмом и случайностью. Ему также принадлежит концепция аттракторов и фрактальных кривых, основанная на представлении о предельных циклах. Пуанкаре был экстраординарной математической фигурой, какие встречаются два-три раза в столетие.

**Они перевернули эпоху. Группа преобразований**

$$x' = x, \quad y' = y, \quad z' = \frac{z - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad t' = \frac{t - vz/c^2}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}$$

найденная Пуанкаре исходя из уравнений Лоренца, стала основой всей современной релятивистской физики.

Итак, в 1899 году Пуанкаре был профессором математической физики в Сорбонне, где занимался математическим описанием наблюдаемых в физике явлений. В этом качестве он внимательно следил за проблемами, возникшими в физике после опытов Майкельсона. Он сразу обратил внимание на предложенную Лоренцем теорию локального времени и сокращения размеров движущихся в эфире тел. В своем курсе "*Электричество и оптика*" Пуанкаре пишет: "Это странное свойство производит впечатление фокуса, разыгранного природой для того, чтобы было невозможно определить движение Земли посредством оптических экспериментов. Такое положение дел не может меня удовлетворить. Я полагаю весьма правдоподобным, что оптические явления могут зависеть только от относительных движений присутствующих материальных тел."

Тем самым в трех фразах Пуанкаре исключил эфир, в следующем, 1900 году в статье "*Теория Лоренца и принцип противодействия*" он дал физическую интерпретацию Лоренцева локального времени: это время подвижных наблюдателей, которые настроили свои часы с помощью оптических сигналов, игнорируя собственное движение. Он там также замечает: "Если аппарат массы 1 кг посылает в некотором направлении со скоростью света энергию в 3 мегаджоуля, то скорость противодействия будет 1 см/сек".

Этот означает, что лучевая энергия обладает свойством инерции, так же как любое материальное тело, для которого коэффициентом инерции является его масса. Эта эквивалентная масса электромагнитной энергии  $E$  равна, следовательно,  $E/c^2$ , формула, которую он явно выписывает, что влечет за собой  $E = mc^2$ . Имеет место эквивалентность между массой и энергией в случае электромагнитного излучения, Макс Планк обобщил эту формулу на случай тела, которое поглощает и теряет энергию и произвел доказательство в 1907 году, опираясь на электромагнитное количество движения Пуанкаре.

#### Хендрик Лоренц, лауреат Нобелевской премии по физике 1902 года:

*Я не установил принципа относительности, как строго и универсально справедливого. Пуанкаре, напротив, получил полную инвариантность и сформулировал принцип относительности – понятие, которое он же первым и использовал.*

В 1902 году Пуанкаре публикует работу "*Наука и гипотеза*", работу, которая имела большой резонанс в научном сообществе. Там он, в частности, писал: "Не существует абсолютного пространства и мы воспринимаем только относительные движения. Не существует абсолютного времени: утверждение, что два промежутка времени равны друг другу, само по себе не имеет никакого смысла. Оно может обрести смысл только при определенных дополнительных условиях. У нас нет непосредственной интуиции одновременности двух событий, происходящих в двух разных театрах. Мы могли бы что-либо утверждать о содержании фактов механического порядка, только отнеся их к какой-либо неевклидовой геометрии".

В этих высказываниях нетрудно увидеть ряд положений, которые типичны для современной релятивистской физики. Лоренц, впрочем, читал эту работу Пуанкаре и был в курсе тех критических замечаний, которые высказывал Пуанкаре еще в 1899 году. Лоренц получил в 1902 Нобелевскую премию по физике, вторую в истории науки (первую получил Рентген), что делало его весьма авторитетным. Строгий ученый, он принимал в расчет критику Пуанкаре, как он сам об этом пишет в своем мемуаре в мае 1904 года, где он предлагает новые уравнения. Однако он не может расстаться с идеей неподвижного эфира.

В сентябре 1904 года Пуанкаре приглашают в Соединенные штаты прочитать лекцию в городе Сент-Луис (штат Миссури). Он должен там рассказать о состоянии науки и о будущем математической физики. Он начал лекцию с того, что рассказал о той роли, которую выпало играть в современной ему науке великим принципам, таким как закон сохранения энергии, второе начало термодинамики, равенство действия противодействию, закон сохранения массы, принцип наименьшего действия. К ним он затем добавляет радикальное нововведение: принцип относительности, в соответствии с которым законы физики должны быть одинаковыми, как для неподвижного наблюдателя, так и для наблюдателя, вовлеченного в равномерное движение, так, что мы не имеем и не можем иметь никакого способа узнать находимся ли мы или нет в подобном движении".

Впервые он обнаружил принцип относительности, касающийся не только механики, но и электромагнетизма. Пуанкаре закончил свою лекцию словами: "Возможно, нам предстоит построить механику, контуры которой уже начинают проясняться и где возрастающая со скоростью масса делает скорость света непреодолимым барьером".

Из мемуара Лоренца 1904 года, с которым он познакомился до этой лекции, он извлек главное, что оправдывает и обосновывает принцип относительности. Он публикует резюме своих исследований в заметке в Академии наук от 5 июня 1905 года, где можно найти следующую фразу: "Самое главное, что было установлено Лоренцем – это то, что уравнения электромагнитного поля не изменяются под действием преобразований, которым я даю название преобразований Лоренца".

На самом деле это именно Пуанкаре принадлежит доказательство инвариантности уравнений Максвелла. Это позже честно признал сам Лоренц "Это были мои рассуждения, опубликованные в мае 1904 года, которые подвинули Пуанкаре написать свою статью, в которой он приписывает мое имя преобразованиям, из которых я не смог извлечь всей пользы. Позже я смог увидеть в мемуаре Пуанкаре, что я мог добиться больших упрощений. Не заметив их, я не смог установить принцип относительности как строго и универсально справедливый. Пуанкаре, напротив, установил совершенную инвариантность и сформулировал постулат относительности. Именно этот термин он первым и употребил".

#### Главный момент, согласно Пуанкаре

В докладе, опубликованном в "*Заметках Академии наук*" 5 июня 1905 года, Пуанкаре комментирует группу преобразований, найденную им при анализе уравнений Лоренца. Он подчеркивает, что главным моментом, оказавшимся в основе принципа относительности, является инвариантность уравнений электромагнитного поля.

Действительно, Лоренц предложил двухступенчатую замену переменных, связывающую координаты события  $\{x, y, z, t\}$  в некотором инерциальном репере с координатами этого же события  $\{x', y', z', t'\}$  в другом инерциальном репере, движущимся по отношению к первому. В то время как Пуанкаре связал координаты  $\{x, y, z, t\}$  с координатами  $\{x', y', z', t'\}$  единым преобразованием. Это преобразование симметрично и обратимо: никакой репер не имеет привилегированного характера и в этом суть релятивизма. Немедленное следствие:

постоянство скорости света.

Именно этому преобразованию Пуанкаре дал имя Лоренца, ставшее классическим. В заметке 5 июня он писал: "Множество всех этих преобразований вместе со всеми поворотами пространства должно обладать групповыми свойствами, для того, чтобы удовлетворять принципу относительности".

Термин преобразование имеет специальное употребление в теории групп преобразований в геометрии после работ Феликса Клейна 1872 года. По этой причине, с теорией групп в то время были знакомы лишь несколько математиков самого высокого уровня и некоторые кристаллографы. Поэтому этой теорией воспользовался Пуанкаре, который ею владел, а не Лоренц.

Последствия того открытия, что в основе релятивизма лежит специальная группа, были весьма значительными, так как из этого следовало, что  $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$  является инвариантом этой группы, преобразования которой в пространстве четырех измерений  $x, y, z, ct$  являются вращениями. Эта группа, которой Пуанкаре дал название *группа Лоренца*, и которую современные физики именуют *группа Пуанкаре*, является основой специальной теории относительности.

Итак, в своей заметке 5 июня 1905 года Пуанкаре дал новую форму преобразованиям, предложенным Лоренцем, и установил их групповую природу. В силу этих преобразований уравнения Максвелла инвариантны и этим удовлетворяется принцип относительности: в этом и состоит *главный момент*. Основы теории относительности были сформированы.

**Ричард Фейнман, лауреат Нобелевской премии по физике 1965:**

*В этой главе мы продолжим обсуждение принципа относительности Эйнштейна и Пуанкаре... Пуанкаре сформулировал принцип относительности следующим образом... [далее Фейнман излагает доклад на конференции в Сен Луи]*

В это время 26 сентября 1905 года журнал "Annalen der Physik" (Берлин-Лейпциг) публикует статью Альберта Эйнштейна, озаглавленную "К электродинамике движущихся тел". Рукопись, подписанная Эйнштейном и его женой Милевой Марич (см. Science & Vie No. 871, p. 32) была получена редакцией 30 июня 1905 года, то есть более трех недель спустя заметки Пуанкаре. Эта рукопись была немедленно уничтожена после ее публикации. Родившийся в 1879 году Эйнштейн получил образование в Цюрихском Политехникуме, после чего поступил в патентное бюро Берна.

В его статье можно найти то, о чем в течение десяти лет Пуанкаре дискутировал с Лоренцем и что уже неоднократно публиковалось: ненужность эфира, абсолютного пространства и абсолютного времени, условность понятия одновременности, принцип относительности, постоянство скорости света, синхронизация часов световыми сигналами, преобразования Лоренца, инвариантность уравнений Максвелла, и так далее. К уже известному Эйнштейн добавил формулы релятивистского эффекта Доплера и абберации, которые немедленно вытекают из преобразований Лоренца.

Таким образом, независимый исследователь, никогда, ничего не публиковавший по обсуждаемому вопросу прежде, якобы переоткрыл практически мгновенно то, что ученые класса Лоренца и Пуанкаре смогли установить только после десяти лет усилий. Более того, вопреки научной этике в своей статье Эйнштейн не делает никаких ссылок на работы предшественников, что особенно поразило Макса Борна. При этом Эйнштейн, который читал по-французски также хорошо, как и по-немецки, знал работу Пуанкаре "Наука и гипотеза", а также, без сомнения, и все другие статьи Лоренца и Пуанкаре.

Это не помешало Эйнштейну стать в глазах общественности творцом теории относительности, что обрекало Пуанкаре на забвение. Такое произошло под влиянием немецкой школы и благодаря научному авторитету Планка и фон Лауе. В 1907 году Планк писал: "Принцип относительности, намеченный Лоренцем и в наиболее общем виде сформулированный Эйнштейном..."; здесь Пуанкаре был уже полностью проигнорирован.

Этому есть два главных объяснения. Прежде всего, конфликт двух кланов: Пуанкаре был математиком, а не физиком. Мог ли профессор математики с высоты своей кафедры давать советы тем, кто внизу ведет тяжелую борьбу с грубой реальностью практики? Затем конфликт наций: в начале века наука была немецкой (Рентген, Герц, Планк, Вайн и др.), как могли немцы получать уроки от французов?

Хотя Эйнштейн и работал в Берне, но родился в Ульме, в Баварии. Он принадлежал к немецкой школе и поэтому стал знаменитым. Потом американцы, склонные все преувеличивать до абсурда, сделали из него самого великого ученого человечества.

В этом избытке почестей есть, однако, "небольшая осечка". Пуанкаре умер в 1912 году, в этом же году, а затем и в последующих, Эйнштейн неоднократно выдвигался на Нобелевскую премию по теории относительности. В конце концов он получил эту премию, но не за эту теорию, а за фотоэффект. Для премии по теории относительности было существенное препятствие: Лоренц, престиж которого в Шведской Академии Наук был огромен, и который лучше, чем кто-либо знал о приоритете Пуанкаре в генезисе релятивизма.

\* Par Renard de la Taille, **Relativité Poincare a precede Einstein**, Science et Vie, No. 931, avril 1995, p. 114-119 ([оригинал статьи в формате djvu](#))

© 2005 В.Ф. Журавлев (перевод с французского)

Веб-сайт EqWorld содержит обширную информацию о решениях различных классов обыкновенных дифференциальных уравнений, дифференциальных уравнений с частными производными (уравнений математической физики), интегральных уравнений, функциональных уравнений и других математических уравнений.