

Релятивизм Пуанкаре предшествовал Эйнштейновскому

(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 Леvegli 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.

Леvegli 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 дело, для которого коэффициентом инерции является ее 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 обобщит эту формулу на случай тела, которое поглощает и теряет энергию и произведет 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 проявляться и где возрастающая со скоростью масса сделает 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, движущемся 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 $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t$ является инвариантом этой группы, преобразования которой в пространстве четырех измерений x, y, z, ict 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) публикуют 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 абберрации, 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, **Relativite 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)

RELATIVITÉ

Poincaré a précédé

Einstein

La relativité, découverte en 1904, fut admise et confirmée par la communauté scientifique dès 1915. Aucun prix Nobel ne fut jamais attribué pour cette découverte majeure, et pour cause : celui qui, le premier, avait énoncé le principe de relativité était mort en 1912. C'était Henri Poincaré.

PAR RENAUD DE LA TAILLE

En 1887, la science est dans l'impasse : une expérience d'interférométrie menée par Michelson et Morley ne montre pas trace des effets qu'elle devait révéler dans le cadre de la physique alors admise par tous les chercheurs. Ce cadre est le suivant : Newton, en 1687, a postulé l'existence d'un espace et d'un temps absolus ; Fresnel, en 1820, a énoncé la théorie ondulatoire de la lumière qui implique, comme support de propagation, un éther impalpable qui remplit tout l'espace. Cet éther, qui était à l'espace interstellaire ce que l'air est à notre espace domestique, aurait été à la fois rigide comme un solide et plus ténu que le gaz le plus léger.


L'aberration des étoiles, un mouvement apparent découvert en 1728 par Bradley, s'explique alors comme résultant de la composition de la vitesse de la lumière avec la vitesse de la Terre dans un éther fixe. En 1865, Maxwell donne les équations qui décrivent la propagation dans l'espace des effets électromagnétiques. Cette propagation se fait à la vitesse de la lumière, et Hertz prouve en



1887 que la lumière est elle-même une onde électromagnétique.

Reste à mettre en évidence le mouvement de la Terre par rapport à cet éther qui sert de milieu de propagation aux ondes lumineuses. L'expérience de Michelson est montée dans ce but, et elle ne révèle rien : il faudrait alors admettre que la Terre entraîne l'éther dans son mouvement, mais à ce moment l'aberration des étoiles devient inexplicable. Le problème semble insoluble.

C'est alors qu'entrent en jeu un physicien d'envergure, le Hollandais Hendrik Lorentz, et un mathématicien de génie, le Français Henri Poincaré. Le premier est universellement connu par les transformations qui portent son nom, le second l'est beaucoup moins, à tel point qu'il n'existe même pas un seul ouvrage complet sur sa vie. Par chance, un ancien polytechnicien, Jules Leveugle, s'est penché pendant plus de deux ans sur le rôle joué par Poincaré dans la genèse des travaux qui ont abouti à l'abandon de l'éther au profit des transformations de l'espace à quatre dimensions.



$E = mc^2$, c'est lui

Henri Poincaré - le premier dans l'histoire des sciences - note, en 1900, que l'énergie rayonnée possède une masse m égale à E/c^2 . Cette équivalence entre masse et énergie explique aussi bien le rayonnement des étoiles que l'énergie des centrales atomiques.

► Il a publié le résultat de ses recherches en avril 1994 dans le mensuel des anciens de Polytechnique, et nous l'avons rencontré ensuite pour mieux cerner l'œuvre de Poincaré à cette époque, cruciale pour la physique, qui va de 1899 à 1905.

En 1887, c'était donc la confusion due au résultat négatif de l'expérience de Michelson. Cinq ans plus tard, Lorentz présentait les débuts de sa théorie des électrons qui permettait de simplifier l'interprétation des équations de Maxwell. Un peu plus tard, il introduisait une contraction des longueurs subie par les corps en mouvement dans un éther fixe. Cette théorie, publiée en 1895, comportait un artifice mathématique que Lorentz appelait "temps local".

C'est à ce moment que Poincaré va entrer en scène, et intervenir profondément dans le débat sur l'électrodynamique des corps en mouvement. Henri Poincaré est né à Nancy en 1854 ; il y fit ses études secondaires, puis fut reçu major de Polytechnique en 1873. Myope, gaucher, et remarquablement maladroit dans la vie courante, il était pourtant déjà considéré par ses professeurs comme "un monstre de mathématiques".

Il fut répétiteur d'analyse à Polytechnique, puis professeur de physique mathématique et d'astronomie mathématique à la Sorbonne, professeur d'électricité théorique à l'École des télécommunications, et membre de l'Académie des sciences à 33 ans. Il mourut en 1912, à 57 ans, des suites d'une opération. Ses découvertes en géométrie différentielle, en topologie algébrique, en calcul des probabilités, en analyse fonctionnelle et autres ont fait dire à Jean Dieudonné, l'un des fondateurs du groupe Bourbaki (1) : «Poincaré, génie égal à Gauss, et aussi universel. Il a dominé toutes les mathématiques de son temps.»

Sa distraction et son détachement des choses quotidiennes étaient légendaires, mais sa réputation et sa générosité – il attribuait à d'autres des découvertes qu'il avait lui-même faites – étaient universelles parmi les mathématiciens. C'est ainsi qu'il put résoudre le célèbre problème de mécanique céleste dit "des trois corps" – sur lequel avaient buté les plus grands mathématiciens – et donner les trajectoires suivies.

La solution proposée est un modèle de génie mathématique, et il en poussa les conclusions très loin, au point d'ouvrir une nouvelle branche de l'analyse, celle des trajectoires chaotiques. Il montra, sans le secours d'aucun ordinateur, que ces trajectoires dynamiques peuvent prendre des allures très désordonnées, presque imprévisibles, selon la valeur des paramètres de départ – ce qu'on appelle aujourd'hui la sensibilité aux conditions initiales en théorie du chaos.

Elles ont révolutionné le siècle

Le groupe de transformations, établi par Poincaré à partir des équations de Lorentz, est à la base de toute la physique relativiste actuelle.

$$\left. \begin{aligned} x' &= x \\ y' &= y \\ z' &= \frac{z - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ t' &= \frac{t - \frac{vz}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \right\}$$

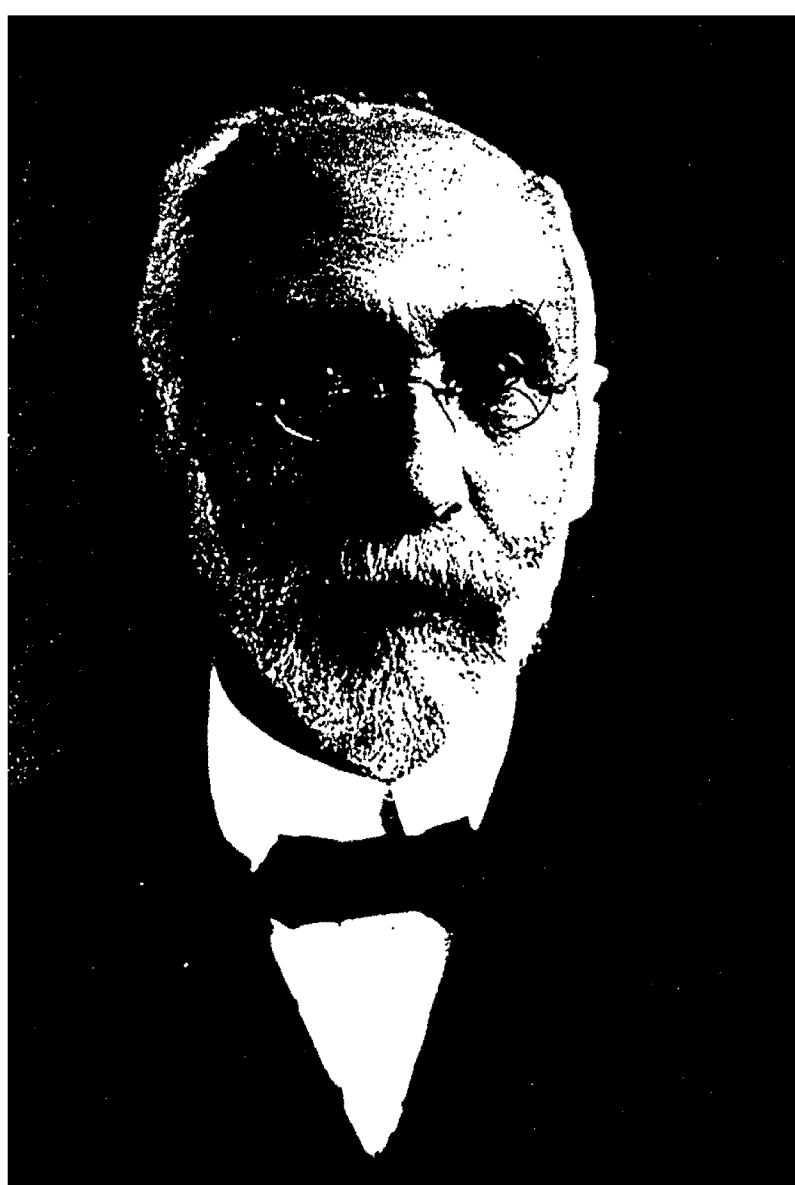
Qui plus est, en coupant ces trajectoires par un plan, il montra que les points d'intersection formaient un ensemble discontinu dont la densité sur un domaine donné pouvait être décrite par le calcul des probabilités. Il faisait ainsi le joint entre deux domaines qui semblaient incompatibles, celui du déterminisme et celui du probabilisme. C'est également lui qui, par le biais des cycles limites, ouvrit la voie aux concepts d'attracteurs et de courbes fractales. En fait, Poincaré fut un mathématicien d'une envergure exceptionnelle comme on n'en rencontre que deux ou trois par siècle.

En 1899, il est donc professeur de physique mathématique à la Sorbonne, c'est-à-dire qu'il s'occupe de la description mathématique des phénomènes observés en physique. A ce titre, il suit de près les problèmes soulevés par l'expérience de Michelson, et connaît la théorie proposée par Lorentz qui introduit un temps local et une contraction des longueurs dans un éther fixe. Or, dans son cours "Electricité et optique", Poincaré écrit : «Cette étrange propriété semblerait un véritable coup de pouce donné par la nature pour éviter que le mouvement de la Terre puisse être révélé par des phénomènes optiques. Ceci ne saurait me satisfaire... Je considère comme très probable que les phénomènes optiques ne dépendent que des mouvements relatifs des corps matériels en présence... et cela rigoureusement.»

En trois phrases, Poincaré vient d'éliminer l'éther. L'année suivante, en 1900, dans *la Théorie de Lorentz et le Principe de réaction*, il donne une interprétation physique du temps local de Lorentz : c'est le temps d'observateurs mobiles qui

$$\left. \begin{aligned} x &= x' \\ y &= y' \\ z &= \frac{z' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ t &= \frac{t' + \frac{vz'}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \right\}$$

(1) Nom collectif d'un groupe de mathématiciens français de haut niveau qui ont regroupé leurs connaissances dans le cadre de la théorie des ensembles.



BOYER-VIOLETTE

Hendrick Lorentz, prix Nobel de physique 1902 :

«Je n'ai pas établi le principe de relativité comme rigoureusement et universellement vrai. Poincaré, au contraire, a obtenu une invariance parfaite... et a formulé le postulat de relativité, terme qu'il a été le premier à employer.»

règlent leurs horloges par des signaux optiques en ignorant le mouvement de translation dont ils sont animés. Il y note aussi : «Si un appareil a une masse de 1 kg, et s'il a envoyé dans une direction unique 3 mégajoules avec la vitesse de la lumière, la vitesse de recul est de 1 cm/s.»

Cela revient à dire que l'énergie lumineuse possède une inertie, tout comme un corps matériel possède un coefficient d'inertie qui est sa masse.

Cette masse équivalente d'une énergie électromagnétique E vaut donc E/c^2 , formule qu'il donne explicitement, ce qui entraîne $E = mc^2$. Il y a là l'équivalence entre masse et énergie dans le cas de l'énergie rayonnée. Max Planck généralisera la formule au cas d'un corps qui gagne ou perd de l'énergie, et en donnera la démonstration en 1907 en s'appuyant sur la notion de quantité de mouvement électromagnétique de Poincaré.

En 1902, celui-ci publie *la Science et l'Hypothèse*, ouvrage qui aura un retentissement considérable dans toute la communauté scientifique. Il y écrit notamment : «Il n'y pas d'espace absolu, et nous ne concevons que des mouvements relatifs... Il n'y a pas de temps absolu : dire que deux durées sont égales, c'est une assertion qui n'a pas de sens par elle-même et qui ne peut en acquérir un que par convention... Nous n'avons pas l'intuition directe de la simultanéité de deux événements qui se produisent sur deux théâtres différents... Nous pourrions énoncer les faits mécaniques en les rapportant à un espace non euclidien.»

On reconnaît là un certain nombre d'assertions qui sont justement celles de la physique relativiste actuelle. Lorentz a d'ailleurs eu l'ouvrage entre les mains, et il est aussi au courant des critiques formulées par Poincaré en 1899. Lorentz a eu le prix Nobel en 1902, le second de l'histoire après Röntgen, ce qui lui confère une grande autorité. Scientifique rigoureux, il tient compte des objections de Poincaré comme il le signale dans son mémoire de mai 1904 où il propose de nouvelles équations. Il n'abandonne pourtant pas l'idée d'un éther fixe.

Et puis, en septembre 1904, Poincaré est invité par les Etats-Unis à faire une conférence à Saint Louis (Missouri). Il doit y traiter de l'état de la science et de l'avenir de la physique mathématique. Il commence son exposé en montrant le rôle dévolu aux grands principes en l'état de la science à l'époque, et il les énumère : principes de la conservation de l'énergie, de la dégradation de l'énergie, de l'égalité de l'action et de la réaction, de la conservation de la masse, de moindre action.

Il y ajoute, innovation majeure, le «principe de relativité, d'après lequel les lois des phénomènes physiques doivent être les mêmes, soit pour un observateur fixe, soit pour un observateur entraîné dans un mouvement uniforme, de sorte que nous n'avons et ne pouvons avoir aucun moyen de discerner si nous sommes oui ou non entraînés dans un pareil mouvement.»

C'est la première fois qu'est énoncé ce principe de relativité qui concerne non seulement la mécanique, mais aussi l'électromagnétisme. Poincaré termine sa conférence sur ces mots : «Peut-être devons nous construire tout une nouvelle mé-►

► canique que nous ne faisons qu'entrevoir où l'inertie croissant avec la vitesse, la vitesse de la lumière deviendrait une limite indépassable.»

En effet, il a tiré du mémoire de 1904 de Lorentz, avec lequel il a une correspondance suivie, ce qu'il appelle un point essentiel qui valide le principe de relativité. Il rédige un résumé de ses recherches dans une "note" à l'Académie des sciences du 5 juin 1905 où l'on trouve la phrase suivante : «Le point essentiel, établi par Lorentz, c'est que les équations du champ électromagnétique ne sont pas altérées par une certaine transformation, que j'appellerai du nom de Lorentz.»

En réalité, c'est Poincaré qui a fait la démonstration de l'invariance des équations de Maxwell, comme le reconnaîtra d'ailleurs très honnêtement Lorentz lui-même : «Ce furent les considérations publiées par moi en 1904 qui donnèrent lieu à Poincaré d'écrire son article, dans lequel il a attaché mon nom à la transformation dont je n'ai pas tiré tout le parti possible... J'ai pu voir plus tard dans le mémoire de Poincaré que j'aurais pu obtenir une plus grande simplification encore. Ne l'ayant pas remarqué, je n'ai pas établi le principe de relativité comme rigoureusement et universellement vrai. Poincaré, au contraire, a obtenu une invariance parfaite... et a formulé le postulat de relativité, terme qu'il a été le premier à employer.»

Le point essentiel, établi par Lorentz, est que les équations du champ électromagnétique ne sont pas altérées par une certaine transformation (que j'appellerai du nom de Lorentz) et qui est de la forme suivante.

$$x' = k(x + ct), \quad y' = y, \quad z' = z, \quad t' = k(t + cx) \quad (1)$$

x, y, z sont les coordonnées et t le temps avant la transformation, x', y', z' et t' après la transformation. Constante Dénivelée c est une constante qui définit la transformation, $k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{v^2}}}$

L'ensemble de toutes ces transformations, joint à l'ensemble de toutes les rotations de l'espace doivent former un groupe; mais pour qu'il en soit ainsi, il faut que $k = 1$; on voit donc comment à supposer $k = 1$ et cela à une condition que Lorentz avait obtenue par une autre voie.

Le point essentiel, selon Poincaré

Sur ce manuscrit de la "note à l'Académie des sciences" du 5 juin 1905, Poincaré commente le groupe de transformations qu'il a tiré des équations de Lorentz. Il insiste, «point essentiel», sur l'invariance des équations du champ électromagnétique, invariance qui fonde justement le principe de relativité.

Lorentz avait, en effet, proposé un double changement de variables entre les coordonnées $\{x, y, z, t\}$ d'un événement dans un repère inertiel, et celles $\{x', y', z', t'\}$ de ce même événement dans un autre repère inertiel en mouvement par rapport au premier. Mais Poincaré, lui, partant de là, fait correspondre $\{x', y', z', t'\}$ à $\{x, y, z, t\}$ par une transformation unique. Cette transformation est symétrique et réciproque : aucun repère ne joue un rôle privilégié, et c'est là le pivot de la relativité. Une conséquence immédiate : la vitesse de la lumière est constante.

C'est cette transformation qu'il appellera «du nom de Lorentz» et qui deviendra classique. De plus, dans sa "note" du 5 juin, il écrit : «L'ensemble de toutes ces transformations jointes à toutes les rotations de l'espace doit former un groupe pour satisfaire au principe de relativité.»

Le mot de transformation a un usage particulier dans la théorie des groupes de transformations en géométrie depuis les travaux de Felix Klein en 1872, et c'est pourquoi Poincaré l'a employé, et non Lorentz. En effet, Poincaré était familier de cette théorie (celle des groupes en algèbre des ensembles) qui n'était alors connue que de quelques mathématiciens de très haut niveau et de certains cristallographes.

Les conséquences de cette découverte seront

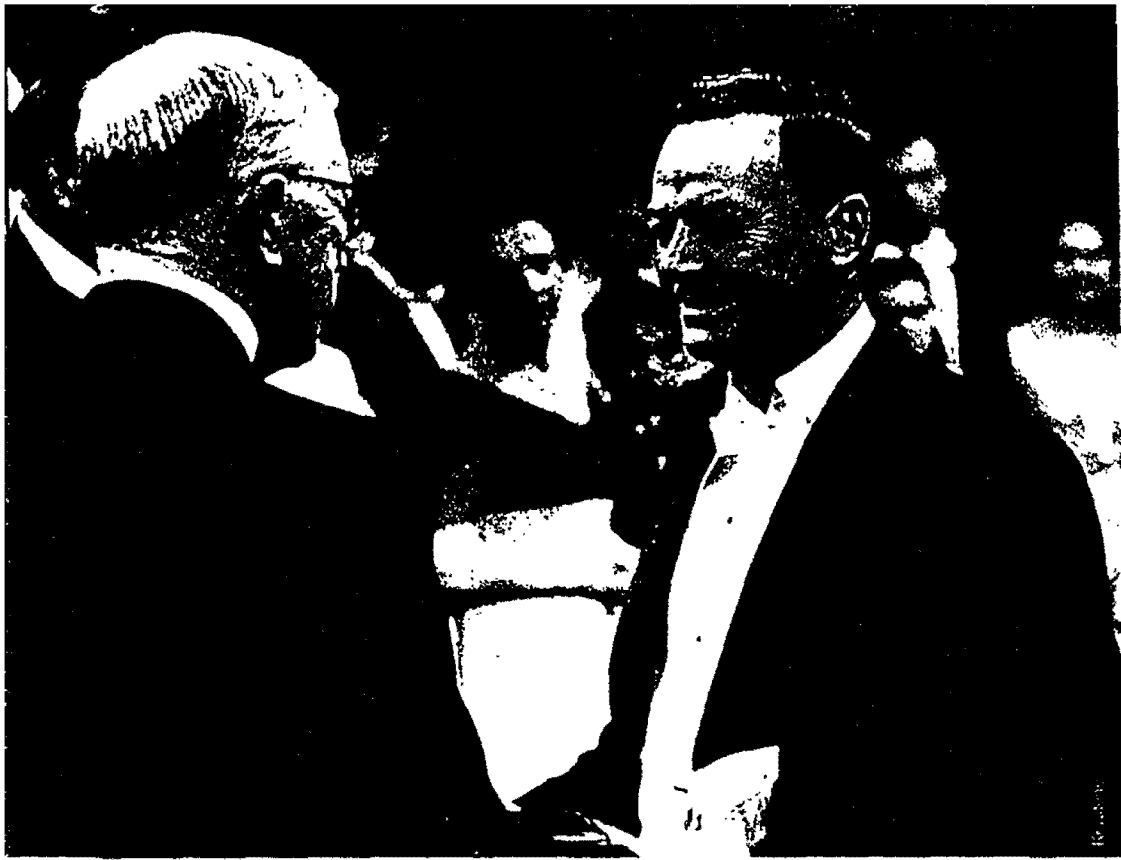
considérables, car elles montrent que $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2$ est un invariant lié à ce groupe, dont les transformations sont des rotations dans l'espace à quatre dimensions, x, y, z, ict . On peut considérer que le groupe dit par Poincaré «de Lorentz», et qu'aujourd'hui les physiciens appellent sous une autre forme «groupe de Poincaré», est le fondement de la relativité restreinte.

Donc, le 5 juin 1905, Poincaré dans sa "note" a donné une forme nouvelle

au changement de variables proposé par Lorentz, a remarqué qu'il constitue un groupe et l'a appelé transformation de Lorentz. Grâce à celle-ci, les équations de Maxwell sont invariantes et respectent le principe de relativité : c'est là le «point essentiel». Les bases de la théorie de la relativité sont alors complètes.

Or, le 26 septembre 1905, les *Annalen der Physik* (Berlin-Leipzig) publie un article d'Albert Einstein intitulé "De l'électrodynamique des corps

J.-L. Charmet



Richard Feynman, prix Nobel de physique 1965 :

« Dans ce chapitre nous continuerons à discuter du principe de relativité d'Einstein et de Poincaré... Poincaré énonça ainsi le principe de relativité... [ici Feynman poursuit avec l'énoncé de la conférence de Saint Louis] »

en mouvement". Le manuscrit, signé par Einstein et sa femme Mileva Maric (voir *Science & Vie* n° 871, p. 32) avait été reçu le 30 juin 1905, soit plus de trois semaines après la "note" de Poincaré ; il sera immédiatement détruit après sa publication. Né en 1879, Einstein avait obtenu une licence de physique au Polytechnicum de Zürich, puis était entré au Bureau des brevets de Berne.

Dans son article, on retrouve ce que Poincaré, au cours de dix années de recherches, de dialogue avec Lorentz, et de retouches successives avait déjà publié : inutilité de l'éther, ni temps ni espace absolus, durées égales par convention, principe de relativité, vitesse de la lumière constante, synchronisation des horloges par signaux optiques, transformation de Lorentz, invariance des équations de Maxwell, etc. Einstein y ajoute les formules relativistes de l'effet Doppler et de l'aberration, lesquelles découlent directement des transformations de Lorentz.

Ainsi donc, un chercheur indépendant, n'ayant

jamais rien publié sur le sujet auparavant, aurait redécouvert, et quasiment du jour au lendemain, ce que deux scientifiques de la classe de Lorentz et Poincaré n'étaient parvenus à établir qu'après dix ans d'efforts. De plus, et contrairement à la norme en vigueur dès cette époque dans toute publication scientifique, l'article d'Einstein ne fait aucune référence à des travaux antérieurs, ce qui avait frappé Max Born. Pourtant Einstein, qui lisait le fran-

çais aussi bien que l'allemand, avait lu *la Science et l'Hypothèse* de Poincaré, et sans doute aussi les autres articles ou notes de Lorentz et de Poincaré.

Cela n'empêcha pas Einstein d'être consacré comme le créateur de la relativité, ce qui impliquait évidemment de mettre Poincaré aux oubliettes. Cela se fit sous l'influence de l'école allemande grâce à l'autorité scientifique de Planck et von Laue. En 1907, Planck écrivait : « Le principe de relativité, énoncé par Lorentz, et dans une version plus générale par Einstein... » Poincaré était déjà entièrement ignoré.

A cela, deux raisons majeures. Une querelle de clans, tout d'abord : Poincaré est un mathématicien, pas un physicien ; un prof de maths a-t-il, du haut de sa chaire, des conseils à donner à ceux qui, sur le terrain, se battent avec la dure réalité des expériences ? Une querelle de nations, ensuite : au début du siècle, la science est allemande avec Röntgen, Hertz, Planck, Wien, etc. Les Allemands auraient-ils des leçons à recevoir d'un Français ?

Einstein travaille peut-être à Berne, mais il est né à Ulm, en Bavière ; il fait partie de l'école allemande. Il sera célèbre à ce titre, puis les Américains, médiatisant les choses à outrance, en feront le plus grand savant de l'humanité.

Il y aura pourtant une faille dans cet excès d'honneur. Poincaré meurt en 1912 ; la même année, et les années suivantes, Einstein sera proposé au comité du prix Nobel pour la relativité. Il aura finalement le prix en 1921, mais pour l'effet photoélectrique. C'est que, pour la relativité, il y a un obstacle, et de taille : Lorentz, dont le prestige est immense auprès de l'Académie royale des sciences de Suède, et qui sait mieux que quiconque la primauté de Poincaré dans la genèse de la relativité. ■



Жюль-Анри ПУАНКАРЕ (1854 - 1912)



Анри Пуанкаре - гениальный французский ученый широкого профиля, внесший большой вклад во многие разделы математики, физики и механики. Основоположник качественных методов теории дифференциальных уравнений и топологии. Создал основы теории устойчивости движения. В его статьях до работ А. Эйнштейна были сформулированы основные положения специальной теории относительности, такие как, условность понятия одновременности, принцип относительности, постоянство скорости света, синхронизация часов световыми сигналами, преобразования Лоренца, инвариантность уравнений Максвелла и др. Разработал и применил метод малого параметра к задачам небесной механики, провел классическое исследование задачи трех тел. В философии создал новое направление, получившее название конвенционализма.

Детство и домашнее обучение

Анри Пуанкаре родился 29 апреля 1854 года в г. Нанси (Лотарингия, Франция). Его 26-летний отец, Леон Пуанкаре успешно совмещает обязанности практикующего врача с лабораторными исследованиями и лекциями на медицинском факультете. Мадам Пуанкаре, Евгения Лануа, весь день проводила в хлопотах. Вся ее жизнь была посвящена исключительно воспитанию детей – сына Анри и дочери Алины. Удивляет и тревожит родственников необычная рассеянность маленького Анри. От этого недостатка ему никогда не избавиться, и со временем о рассеянности знаменитого Пуанкаре будут рассказывать целые легенды. Никому еще невдомек, что рассеянность Анри свидетельствует о врожденной способности почти полностью отвлекаться от окружающей действительности, глубоко уходя в свой внутренний мир.

Заболев дифтерией, Анри на несколько месяцев превратился в немощного узника, прикованного к постели, с печатью молчания на устах – болезнь осложнилась параличом ног и мягкого неба. Силы очень медленно возвращались к измученному болезнью организму. Паралич ног отступил быстрее, но шли месяцы, а Анри по-прежнему был бессловесным. Он стал особенно внимательным к звуковой стороне жизни, текущей совсем рядом, за дверями комнаты. Слух стал единственным связующим звеном между ним и остальной частью дома. Анри стал вместилищем невысказанных звуков. Много лет спустя психологи, обследуя гениального ученого, отметят у него нечасто встречающуюся особенность – красочное восприятие звуков. Каждый гласный звук ассоциируется у Пуанкаре с каким-нибудь цветом. Обычно способность эта, если она имеется,

сильнее всего проявляется в детском возрасте. У Анри Пуанкаре она сохранилась до конца жизни.

К счастью, самые худшие опасения не оправдались: Анри обрел способность говорить. Но очень долго не проходила физическая слабость. Все заметили, что после болезни Анри очень переменялся не только внешне, но и внутренне. Он стал робким, мягким и застенчивым. Домашним обучением Анри, ослабленного болезнью, занимается Альфонс Гинцелин, давний друг семьи Пуанкаре – широко образованный и эрудированный человек, прирожденный преподаватель. Урок за уроком проходил Анри своеобразный курс обучения. Не обошли они своим вниманием биологию, географию, историю, правила грамматики, четыре действия арифметики. Учитель не без удивления убедился, что Анри неплохо считает в уме. Но, чем бы они ни занимались, Анри редко приходилось брать в руки перо или карандаш. С него не спрашивали письменных заданий, не загружали его рутинной. Постороннему наблюдателю могло показаться, что учитель просто беседует со своим учеником о всякой всячине. От природы великолепная слуховая память Анри еще больше окрепла и обострилась от этих упражнений. Опыт усвоения знаний почти без фиксации на бумаге, с минимумом письменной работы, попав на "благодатную" почву, вырос в глубоко своеобразную, резко индивидуальную манеру. На всю жизнь останется у него если не отвращение, то, по крайней мере, пренебрежение к писанине, к процессу графического закрепления своих знаний. Эту его черту не смогли исправить все последующие годы учебы.

Обучение в лицее. Война Франции с Пруссией. Кровавая неделя. Экзамены

Хорошая домашняя подготовка позволила Анри восемь с половиною лет поступить сразу в девятый класс лицея (отсчет классов ведется в обратном порядке – с десятого, начального, по первый, самый старший класс). Преподаватели нансийского лицея были довольны прилежным и любознательным учеником. Сочинение по французскому языку, которое он написал в конце девятого класса, профессор лицея назвал "маленьким шедевром" за стиль и вдохновенно-эмоциональное изложение. Математика, а вернее арифметика, не затронула его души, хотя он без особых затруднений справлялся с излагаемым материалом. Но однажды, когда Анри учился в четвертом классе в дом Пуанкаре явился один из преподавателей лицея. Весьма взволнованный, он сообщил встретившей его хозяйке дома: "Мадам, ваш сын будет математиком!" И так как лицо мадам Пуанкаре не отразило ни восторга, ни удивления, новоявленный пророк поспешил добавить: "Я хочу сказать, он будет великим математиком!"

Несмотря на обнадеживающие и недвусмысленные успехи по математике, он переходит на отделение словесности. По-видимому, таково было желание его родителей, считавших, что их сын непременно должен получить полное гуманитарное образование. Анри усиленно штудирует латынь, изучает античных и новых классиков.

19 июля 1870 года правительство Франции объявляет войну Пруссии. В столице и в департаментах царят подъем и всеобщее воодушевление. Никто не сомневается в легкой и скорой победе просвещенной Франции над варварской Пруссией. Как неожиданное и страшное откровение приходит к французам сознание, что страна совершенно не готова к войне. Парижские газеты еще

восторженно кричат о победах французского оружия, а через уже Нанси проходят остатки разбитых, вымотанных неравными боями французских частей.

В эти суровые дни Леон Пуанкаре, как член городского муниципалитета, возглавил всю медицинскую часть, обслуживавшую раненых. Шестнадцатилетний Анри, который не может еще быть призван на военную службу, находится неотлучно с отцом в качестве добровольного секретаря и амбулаторного ассистента. 14 августа в город вступили немецкие части, а 18 марта в Париже произошло восстание и была провозглашена власть Коммуны. Правительство во главе с Тьером бежало в Версаль. Теперь осаду Парижа ведут уже не прусские, а правительственные войска, которые завершают ее в конце мая "кровавой неделей". Все эти события каким-то вихрем проносятся перед потрясенным сознанием Анри.

Тревожной весной 1871 года Анри обдумывает диссертационную письменную работу, которую следует представить по окончании первого класса. Выбранная им тема говорит сама за себя: "Как может нация возвыситься?" На страницах ученической тетради отражены его чистые и благородные помыслы, его скрыта боль и тревога за поверженную Отчизну.

5 августа 1871 года лицеист Пуанкаре успешно сдал экзамены на бакалавра словесности с оценкой "хорошо". Его латинское сочинение превзошло даже сочинение на французском языке и заслужило наивысшей оценки. Ряды словесников Франции могли бы пополниться весьма талантливым, незаурядным мыслителем, если бы Анри избрал филологический факультет университета. Но этим надеждам некоторых преподавателей лицея не суждено было сбыться. Через несколько дней Анри изъявил желание участвовать в экзаменах на степень бакалавра наук.

Экзамен состоялся 7 ноября 1871 года. Пуанкаре выдержал его, но лишь с оценкой "удовлетворительно". Подвела его письменная работа по математике, которую Анри попросту провалил. История этого казуса такова: опоздав на экзамен, весьма возбужденный и выбитый из колеи, Анри плохо понял задание. Требовалось вывести формулу для суммы геометрической прогрессии. Но Пуанкаре отклонился от темы и начал излагать совершенно другой вопрос. В результате написанная им работа заслуживала лишь неудовлетворительной оценки. По формальным правилам Анри должен был в этом случае выбыть из числа экзаменующихся. Но слава о его необычных математических способностях достигла даже стен университета, где происходили экзамены на бакалавра. Университетские профессора отнеслись к его провалу как к досадному недоразумению и закрыли глаза на некоторое нарушение формальных канонов ради торжества справедливости. Им не пришлось об этом пожалеть, когда они присутствовали на устном экзамене. Анри отвечал уверенно и блестяще, продемонстрировав свободное владение материалом. Ему была присуждена степень бакалавра наук.

Получив диплом бакалавра наук, Анри поступает в класс элементарной математики. Только теперь по-настоящему полно и самозабвенно отдается он своему будущему призванию. Не довольствуясь рекомендованными учебниками, он изучает более серьезную математическую литературу: "Геометрию" Руше, "Алгебру" Жозефа Бертрана, "Анализ" Дюамеля, "Высшую геометрию" Шаля.

Два следующих лета 1872 и 1873 годов были ознаменованы тем, что Анри Пуанкаре занял первые места на Общем конкурсе по элементарной математике и на Общем конкурсе по специальной математике.

Обучение в Политехнической школе и в Горной школе. Работа в должности горного инженера

В октябре 1873 года Анри становится студентом Политехнической школы, которая набирала и подготавливала претендентов на высшие технические должности в государственном аппарате и в армии. После вступительных экзаменов Пуанкаре выходит на первое место в списке лучших учеников школы, но затем постепенно теряет его. Виной тому были такие предметы, как военное дело, черчение и рисование. Как и в лицее, Анри не проявляет никаких признаков художественного дарования. Даже на занятиях по математике, если он чертит на доске прямые линии, сходящиеся в одной точке, то они оказываются у него ни прямыми, ни сходящимися.

На первое место выходит друг Пуанкаре – Бонфуа, которому досталось Полное собрание сочинений Лапласа, вручаемое по традиции лучшему питомцу Политехнической школы от Академии наук. Пуанкаре на втором месте, но по основным физико-математическим дисциплинам и по химии Анри опережает всех. Вся первая тройка учащихся Политехнической школы поступает в Горную школу, наиболее авторитетное в то время специальное высшее учебное заведение.

На втором году обучения в Горной школе Анри уже всерьез взялся за научные исследования. В голове его роятся идеи, которые два года спустя лягут в основу докторской диссертации. Поэтому прослушиваемые им специальные курсы не затрагивают его воображения, если не имеют отношения к математике. Единственный предмет, который по-настоящему заинтересовал Анри, – это минералогия. Даже не сама минералогия, а кристаллография, которая наряду с кинематикой твердого тела представляла одну из немногих точек приложения теории групп, одного из самых абстрактных тогда разделов математики. Проверка состояния диссертации поручена Дарбу, Лагерру и Бонне, которые не торопятся с ответом. Свои хлопоты, связанные с получением рекомендаций от членов этой комиссии, Пуанкаре даже описывает в сочиненном им шутовском стихотворении.

[Гастон Дарбу](#), тридцатилетний французский математик, профессор Сорбонны и Нормальной школы, запомнил Анри еще со времени сдачи им вступительных экзаменов в эту школу. О диссертации Пуанкаре у него сложилось самое высокое мнение: "С первого же взгляда мне стало ясно, что работа выходит за рамки обычного и с избытком заслуживает того, чтобы ее приняли. Она содержала вполне достаточно результатов, чтобы обеспечить материалом много хороших диссертаций".

С апреля 1879 года выпускник Горной школы Анри Пуанкаре распределен в Везуль простым инженером шахт третьего класса. В его обязанности входит наблюдение, контроль и инспектирование каменноугольных копей. Кроме того, он состоит на службе контроля и эксплуатации железных дорог.

Ранним утром 1 сентября 1879 года, еще до рассвета, произошел взрыв рудничного газа и неизвестна судьба около двух десятков шахтеров, оставшихся под землей. Исполняя свой долг, Пуанкаре спускается вместе со спасательно-

поисковой группой в зияющее жерло шахты навстречу полной неизвестности. В последовавшей затем суматохе администрация даже сообщила о гибели инженера Пуанкаре при расследовании обстоятельств аварии. К счастью, это была ошибка. Он благополучно поднялся на поверхность земли, выяснив размеры и причины происшедшей катастрофы. Шестнадцать человеческих жизней – таков итог трагедии, разыгравшейся на многометровой глубине под толщей угольных пластов.

Диссертация давала Анри Пуанкаре право преподавать в высших учебных заведениях. И он не замедлил этим воспользоваться. 1 декабря 1879 года он отбывает в Кан, где был назначен преподавателем курса математического анализа на Факультете наук. Покинув Везуль, он никогда больше не вернется к деятельности горного инженера, но по-прежнему будет числиться по своему ведомству, время от времени получая повышения в звании.

Основные результаты Анри Пуанкаре в области математики

В феврале 1881 года в "Comptes Rendus" (самый авторитетный французский научный журнал) появилась первая заметка Пуанкаре о фуксовых функциях. Это было настоящее научное извержение, как оценили его некоторые математики. За два года Пуанкаре опубликовал серию из 25 заметок и нескольких обширных мемуаров. Первые работы Пуанкаре сразу же привлекли к нему внимание европейских математиков, заставили их пристально следить за его уверенными шагами. Следить и удивляться. Маститый немецкий математик [Карл Вейерштрасс](#) в письме к своей любимой ученице [Софье Ковалевской](#) пишет: "Обратила ли ты внимание на последние работы Пуанкаре? Это, во всяком случае, крупный математический талант...".

До 1884 года Пуанкаре публикует еще пять работ о новых функциях, названных им фуксовыми.

Почти два года провел Анри в Кане. Этот период оказался весьма важным, если не решающим, для его последующей судьбы. Именно здесь произошли те свершения, которые на долгие годы определили его жизнь и научную деятельность. Но при всей своей занятости и углубленности в сложнейшие проблемы математики Пуанкаре сумел заинтересоваться одной прелестной молодой особой и в то же время привлечь ее внимание к себе. Посвятив свое высокое интеллектуальное горение фуксовым функциям, он отдал мадемуазель Полен д'Андеси благородный пыл своего сердца. 20 апреля 1881 года в Париже торжественно празднуется их свадьба.

Благодаря блестящему открытию фуксовых (автоморфных) функций Пуанкаре в свои 27 лет приобрел столь большую известность в ученых кругах, что ему предлагают должность преподавателя на Факультете наук в Парижском университете. Семья Пуанкаре перебирается из нормандской столицы в столицу Франции. В октябре 1881 года он приступает к исполнению своих новых обязанностей. Свое свободное время Пуанкаре делит между домашним очагом и наиболее близкими друзьями – [Полем Аппелем](#) и [Эмилем Пикаром](#) – формируется математическое трио. Все трое в 1881 году вернулись в Париж после нескольких лет, проведенных в провинции, у всех троих уже были несомненные заслуги перед отечественной наукой. Прибывшие в Париж молодые математики сразу же оказались среди самых деятельных участников в подготовке

выпусков специального журнала "Бюллетень математических наук и астрономии". Неразлучную тройцу заботливо опекает Шарль Эрмит, профессор Нормальной школы и Парижского университета, член Академии наук, после смерти Коши ставший общепризнанным главою французских математиков.

В Париже Пуанкаре глубоко исследовал вопрос об особых точках дифференциальных уравнений. Он выделил и классифицировал особые точки семейства интегральных кривых, изучил характер поведения интегральных кривых в окрестности особых точек, исследовал предельные циклы. Четыре больших мемуара под общим названием "О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями", вышедшие в свет в 1882-1886 годах составили содержание нового раздела математики. Название ему дал сам Пуанкаре: качественные методы теории дифференциальных уравнений. До него этот кардинально новый подход даже не затрагивался. Как одну из задач, которая решается качественными методами, он изучал интегральные кривые, заданные на торе. Пуанкаре разработал также метод малого параметра и теорию интегральных инвариантов, заложил основы теории устойчивости дифференциальных уравнений по начальным условиям и малым параметрам.

С осени 1886 года Пуанкаре возглавил кафедру математической физики и теории вероятностей Парижского университета, а в январе 1887 года (в возрасте 33 лет) был избран членом Академии наук Франции.

Исследования по разработке теории автоморфных функций, так же как и работы по качественной теории дифференциальных уравнений, привлекли внимание Пуанкаре к топологии. Он ввел основные понятия комбинаторной топологии (числа Бетти, фундаментальную группу), доказал формулу, связывающую число ребер, вершин и граней n -мерного полиэдра (формулу Эйлера-Пуанкаре), дал первую интуитивную формулировку общего понятия размерности. 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".

В области математической физики Пуанкаре исследовал трехмерные колебания, вывел основную формулу теории распространения волн (в задаче о дифракции радиоволн), изучил ряд задач теплопроводности и теории потенциалов, ему принадлежат также труды по обоснованию принципа Дирихле. Для функций нескольких комплексных переменных он построил теорию интегралов, аналогичных интегралам Коши, показал, что всюду мероморфная функция двух комплексных переменных является отношением двух целых функций.

Основные результаты Анри Пуанкаре в области небесной механики

Когда Пуанкаре был еще ребенком, величественный спектакль звездной ночи пленил его младенческий ум. Позже он напишет в одной из своих статей: "Звезды шлют нам не только видимый и ощущаемый свет, действующий на наше плотское зрение; от них исходит также иной, более тонкий свет, проясняющий наш ум". Вероятно именно этот утонченный "свет" постигаемой истины увидел Пуанкаре своим внутренним зрением, когда интерес его обратился к законам движения небесных тел.

В январе 1889 года на международный конкурс, объявленный королем Оскаром II, было представлено одиннадцать работ. Жюри конкурса признало лучшими две из них. Одна работа принадлежала Полю Аппелю и называлась "Об интегралах функций со множителями и об их применении к разложению абелевых функций в тригонометрические ряды". Другая работа имела в качестве девиза строчку из латинского стихотворения: "Nunquam praescriptos transibunt sidera fines" ("Никогда не перейдут светила предписанных границ"). Это был мемуар Анри Пуанкаре, который представлял собой обширное исследование задачи трех тел. Обе работы были удостоены премии на равных основаниях. Друзья разделили славу и почести.

Подобно [Эйлеру](#), Пуанкаре за короткий срок переосмыслил и обновил складывавшийся в течение двух столетий математический аппарат небесной механики, используя самые последние достижения математики. В трехтомном трактате "Новые методы небесной механики" (1892-1899) Пуанкаре исследовал периодические и асимптотические решения дифференциальных уравнений, доказал асимптотичность некоторых рядов, являющихся решениями дифференциальных уравнений с частными производными, ввел методы малого параметра, метод неподвижных точек. Ему принадлежат также важные для небесной механики труды об устойчивости движения и о фигурах равновесия гравитирующей вращающейся жидкости. Метод "интегральных инвариантов", использованный Пуанкаре, стал классическим средством теоретического исследования не только в механике и астрономии, но и в статической физике и в квантовой механике. Вклад Анри Пуанкаре в небесную механику был столь значительным, что на вакантное место главы кафедры небесной механики Сорбонны он утверждается единогласно. Оставив кафедру математической физики и теории вероятностей, которой руководил десять лет, с осени 1896 года профессор Пуанкаре уже ведет курсы по некоторым традиционным разделам небесной механики.

Основные результаты Анри Пуанкаре в области физики

Пуанкаре оказал огромное влияние на развитие теоретической мысли в период кризиса классической физики. В его статьях в 1897 - 1905 гг. до работ А. Эйнштейна были сформулированы основные положения специальной теории относительности, такие как, условность понятия одновременности, принцип относительности, постоянство скорости света, синхронизация часов световыми сигналами, преобразования Лоренца, инвариантность уравнений Максвелла и др.

Активной творческой деятельности Пуанкаре в области теоретической физики способствовала большая педагогическая работа: в течение ряда лет он прочел большой курс лекций в Сорбонне по всем разделам тогдашней теоретической физики, который затем был издан в 12-ти томах. В своих лекциях Пуанкаре освещал и самые актуальные вопросы тогдашней физики, а также и свои соображения по их решению. Именно в одной из лекций 1899 г. Эд. Уиттекер обнаружил утверждение Пуанкаре о принципиальной невозможности наблюдения абсолютного движения в оптических и электромагнитных опытах.

В статье "*Теория Лоренца и принцип противодействия*", опубликованной в 1900 году, Пуанкаре пишет, что энергия излучения обладает массой m , равной E/c^2 . (В статье А. Эйнштейна эквивалентная формула $E = mc^2$ появилась значительно позже в 1905 году.)

В 1902 году Пуанкаре публикует работу "*Наука и гипотеза*", 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 сентябре 1904 года Пуанкаре приглашают в Соединенные штаты прочитать в городе Сент-Луис лекцию 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". Пуанкаре закончил свою лекцию словами: "Возможно, нам предстоит построить механику, контуры которой уже начинают проясняться и где возрастающая со скоростью масса сделает скорость света непреодолимым барьером".

Именно Пуанкаре принадлежит доказательство инвариантности уравнений Максвелла относительно преобразований Лоренца (Пуанкаре нашел общий вид этих преобразований, он же и назвал их *преобразованиями Лоренца*). Из высказываний [Хендрика Лоренца](#), лауреата 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 своей статье, опубликованной в "*Заметках Академии наук*" 5 июня 1905 года, Пуанкаре дал новую форму преобразованиям Лоренца и установил их групповую природу. В силу этих преобразований уравнения Максвелла инвариантны и этим удовлетворяется принцип относительности.

[Макс Борн](#), лауреат Нобелевской премии по физике 1954 года: *Специальная теория относительности не является трудом одного человека, она возникла в результате совместных усилий группы великих исследователей - Лоренца, Пуанкаре, Эйнштейна, Минковского (1959).*

Более подробную информацию об истории создания специальной теории относительности можно найти в статьях [\[15\]](#) и [\[16\]](#).

Философские взгляды

Научное творчество Пуанкаре в последние десять лет его жизни протекало в атмосфере начавшейся революции в естествознании, что несомненно

определило его интерес в эти годы к философским проблемам науки. Краткое резюме его собственных философских взглядов сводится к следующему: основные положения (принципы, законы) любых научных теорий не является ни синтетическими истинами а priori, ни моделями объективной реальности. Они суть соглашения, единственным абсолютным условием которого является непротиворечивость. Выбор тех или иных положений из множества возможных произволен, если отвлечься от практики их применения. Но поскольку мы руководствуемся последней, производительность выбора основания принципа (законов) ограничена, с одной стороны, потребности в нашей мысли в максимальной простоте теорий, с другой- необходимостью успешного их использования. В границах этих требований заключается известная свобода выбора, обусловленная относительным характером самих этих требований. Эта философская доктрина Пуанкаре получила впоследствии название *конвенционализма*.

Награды и звания

За свою жизнь Пуанкаре успел получить множество научных званий и наград, в том числе:

- премия Поиселе Парижской академии наук (1885),
- член Французской академии наук (1887),
- премия короля Швеции Оскара II (1889),
- член Лондонского королевского общества (1894),
- иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук (1895),
- президент Французского астрономического общества,
- член Бюро долгот в Париже (1893),
- премия Жана Рейно Парижской академии наук (1896),
- золотая медаль Лондонского королевского астрономического общества (1900),
- медаль имени Дж. Сильвестера Лондонского королевского общества (1901),
- золотая медаль фонда им. Н.И. Лобачевского Физико-математического общества Казани,
- премия им. Я. Бойяи Венгерской академии наук (1905),
- президент Французской академии наук (1906),
- золотая медаль Французской ассоциации содействия развитию науки (1909).

Именем Пуанкаре назван Математический институт в Париже, а также кратер на обратной стороне Луны.

Ссылки на литературу и веб-страницы

1. *Принцип относительности. Сборник работ классиков релятивизма* (Г.А. Лоренц, А. Пуанкаре, А. Эйнштейн, Г. Минковский). Ред. и примечания В.К. Фредерикса и Д.Д. Иваненко. М.-Л.: ОНТИ, 1935.
2. Паули В. *Теория относительности*. М.-Л.: Гостехиздат, 1947.
3. *Вопросы истории естествознания и техники*, 1956, вып. 2, с. 114-123.
4. Субботин М.Ф. *Работы Анри Пуанкаре в области небесной механики*. Вопросы истории естествознания и техники, 1956, вып. 2, с. 114-123.
5. Пуанкаре А. *Избранные труды*, тт. 1-3. М.: Наука, 1971-1974 (файлы этих книг можно найти [здесь](#)).
6. *Принцип относительности*. Сб. работ по специальной теории относительности. М.: Атомиздат, 1973 (файл этой книги можно найти [здесь](#)).

7. Жюлиа Г. *Анри Пуанкаре, его жизнь и деятельность*. В кн.: Анри Пуанкаре. Избр. труды. М.: Наука, 1974, т. 3, с. 664-673.
8. Тяпкин А.А., Шибанов А.С. *Анри Пуанкаре*. М.: Молодая гвардия, 1979.
9. Боголюбов А.Н. *Математики, механики: Биограф. справ.* Киев: Наукова думка, 1983.
10. Логунов А.А. *К работам Анри Пуанкаре "О динамике электрона"* (2-е издание). М.: МГУ, 1988.
11. *Математический энциклопедический словарь*. М.: Советская энциклопедия, 1988, с. 739-740.
12. Логунов А.А. *Анри Пуанкаре и теория относительности*. М.: Наука, 2004.
13. Appell P. *Henri Poincare*. Paris: Plon, 1925.
14. Whittaker E. *A History of the Theories of Aether and Electricity. The Modern Theories 1900-1926*, London: Thomos Nelson, 1953.
15. Par Renard de la Taille. *Relativite Poincare a precede Einstein*, Science et Vie, No. 931, avril 1995, p. 114-119 ([оригинал статьи](#) в формате djvu, [перевод статьи](#) в формате html).
16. Тяпкин А.А. *Об истории возникновения "теории относительности"*. Дубна: ОИЯИ, 2004.
17. [Анри Пуанкаре](#). Виртуальная школа юного математика.

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.

© 2006 А. Д. Полянин www.guinnessworldrecords.com/2006