

Альберт Эйнштейн

А. ВАСИЛЬЕВ

АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН РОДИЛСЯ в Германии в 1879 году, с 1893 года жил в Швейцарии, с 1914 года – в Германии, а в 1933 году эмигрировал в США. Вклад Эйнштейна в формирование современной физики трудно переоценить: он построил квантовую теорию света и предсказал индуцированное излучение света, на основе которого были созданы современные лазеры; разработал молекулярно-статистическую теорию броуновского движения и создал квантовую статистику для частиц с целым спином (статистика Бозе–Эйнштейна); создал специальную и общую теории относительности; работал над проблемами космологии и единой теории поля. В трудах Эйнштейна поставлен ряд нерешенных до сих пор фундаментальных проблем, поиск решения которых ведется на переднем крае науки.

Эйнштейн получил образование на педагогическом факультете Политехникума в Цюрихе, который закончил в 1900 году. После этого он около двух лет был практически безработным, а затем получил место в Бернском Патентном бюро, куда был принят на должность технического эксперта. Там он служил до 1909 года, оценив позднее этот период своей жизни в следующих словах: «Составление патентных формул было для меня благословением. Оно заставляло много думать о физике и давало для этого повод». В научном творчестве Эйнштейна бернский период занимает исключительное место: здесь он создал теорию броуновского движения, теорию фотонов и специальную теорию относительности. Во многом ему помогло изучение техники, причем именно в таком ключе, как это имело место в Патентном бюро: знакомство с непрерывным потоком новых, подчас остроумных, технологических рецептов; перенос конструкций и схем из од-



ной области техники в другую; неожиданные мобилизации старых приемов для решения новых задач.

В 1905 году Эйнштейн закончил серию работ, посвященных классической теории молекулярного движения. Он объяснил природу наблюдаемого в микроскоп хаотического движения малых тел, взвешенных в жидкости – так называемого броуновского движения, – исходя из концепции беспорядочно движущихся и сталкивающихся молекул. Эйнштейн учитывал неизбежные флуктуации (т.е. отклонения от среднего значения) в беспорядочных ударах, которые наносят телу молекулы жидкости. Избыток столкновений, передающих импульс в одном из направлений, по сравнению с числом столкновений, передающих импульс в другом направлении, вызывает сдвиг пылинки, который можно наблюдать в микроскоп. Хотя подобное предположение высказывалось еще до Эйнштейна, отсутствовала математическая основа для этого утверждения и отсутствовали его экспериментальные доказательства. Эйнштейн с помощью статистичес-

ких методов, развитых Больцманом для определения средних значений в тепловых процессах, показал, что между скоростью движения взвешенных частиц, их размерами и коэффициентом вязкости существует совершенно определенная взаимосвязь, которая может быть проверена экспериментально. Эйнштейновский «закон броуновского движения» был подтвержден в 1908 году опытами французского физика Перрена.

Если теория броуновского движения завершала цикл работ в области молекулярной физики и носила строгий характер классического исследования, то работы по теории света с самого начала были революционными. В своем учении о свете Эйнштейн основывался на выдвинутой в 1900 году Максом Планком гипотезе, что испускание и поглощение энергии при тепловом излучении происходит не непрерывно, а в виде маленьких, далее неделимых порций – квантов. В 1905 году Эйнштейн постулировал, что свет не только излучается и поглощается порциями, но и состоит из дискретных квантов света, представляющих собой частицы, движущиеся в пустоте со скоростью $c = 300000$ км/с. Впоследствии эти частицы получили название фотонов. Новая корпускулярная теория света не противоречила его волновой природе. Хотя свет и представляет собой волну, непрерывно распространяющуюся в пространстве, световая энергия в определенных явлениях проявляет себя в настолько уплотненной форме, что может рассматриваться как частица. Свет различного цвета состоит из световых квантов различной энергии: фиолетовый свет (колебания с большей частотой) состоит из более крупных неделимых порций энергии, чем красный свет (колебания с меньшей частотой). Энергия фотонов пропорциональна частоте ν и равна $h\nu$, где h – постоянная Планка, или «квант действия». Позднее,

в 1916 году, Эйнштейн ввел понятие импульса фотона $h\nu/c$.

Учение Эйнштейна о световых квантах дало простейшее объяснение фотоэлектрическому эффекту, известному со времен Герца и Столетова. Фотоэффект состоит в возникновении электрического тока при облучении светом поверхности металла. Эйнштейн предложил следующее объяснение этому явлению: световые кванты, попадая на поверхность металла, отдают свою энергию электронам, которые вырываются из металла и создают электрический ток. Чтобы вырвать электрон из металла, нужна определенная энергия. Если фотон такой энергией обладает, он сможет выбить электрон; при этом энергия вылетевших электронов зависит не от интенсивности света, а исключительно от его длины волны. Эйнштейн получил формулу для максимальной энергии вылетевших электронов: $E = h\nu - A$, где A – работа выхода, т.е. энергия, необходимая для того, чтобы покинуть металл, преодолев притяжение со стороны оставшихся атомов. Правильность данного Эйнштейном толкования фотоэффекта десятилетие спустя была подтверждена экспериментальными исследованиями американского физика Милликена. В настоящее время квантовая теория света принадлежит к надежно установленным истинам физики, а за открытие законов фотоэффекта Альберту Эйнштейну в 1921 году была присуждена Нобелевская премия.

Каждая из перечисленных выше работ уже поставила бы Эйнштейна в ряд знаменитых физиков, однако его наивысшим достижением по праву считается создание общей и специальной теорий относительности. Публикацию своих исследований по теории относительности он начал со статьи «К электродинамике движущихся тел», напечатанной в 1905 году в «Анналах физики». В том же году вышло в свет дополнение к этой статье под заглавием «Зависит ли инерция тела от содержащейся в нем энергии?». Первоначальный вариант теории, носящей название специальной теории относительности, был разработан для систем, движущихся прямолинейно и равномерно. К построению этой теории Эйнштейн привел парадокс, возникающий при попытках распространить идеи классической физики (правило сло-

жения скоростей и принцип относительности) на новую область физики – электродинамику. Эйнштейн говорил, что еще с юных лет его занимал вопрос о том, что бы произошло, если бы можно было со скоростью света мчаться вслед за световой волной. Тогда наблюдатель должен был бы воспринимать луч света как покоящееся, перемещающееся в пространстве электромагнитное поле. Это, однако, противоречит теории Максвелла, согласно которой свет всегда представляет собой движущиеся электромагнитные волны. К тому же, оптические процессы в такой системе отсчета должны резко измениться: если для наблюдателя свет имеет нулевую скорость, то, например, вспышка фонаря не осветит экран, находящийся на некотором расстоянии. Такое изменение оптических процессов позволило бы наблюдателю отличить движущуюся систему от неподвижной только по процессам внутри системы, что противоречит интуитивному убеждению в невозможности зарегистрировать равномерное и прямолинейное движение при помощи внутренних эффектов в движущейся системе. Таким образом, электродинамика разрушила связь двух очевидных положений классической физики – принципа сложения скоростей и принципа относительности. Эти два положения применительно к электродинамике оказались несовместимыми, что потребовало отказа от одного из них.

Решающим экспериментом, который помог решить этот вопрос, оказался знаменитый опыт Майкельсона, предназначенный для обнаружения «светового эфира». Теория эфира господствовала в науке на протяжении всего XIX века. Считалось, что эфир пронизывает все тела, не принимая участия в их движении. Неподвижный мировой эфир является воплощением «абсолютного пространства». В опыте Майкельсона измерялось время прохождения света по двум трубкам, одна из которых располагалась вдоль движения Земли, а другая – в поперечном положении. Движение Земли в мировом эфире должно было сказаться в увеличении скорости света при прохождении по продольной трубке навстречу движению Земли и в ее уменьшении при движении в обратном направлении. При этом считалось, что

свет пройдет туда и обратно в продольной трубке за большее время, чем в поперечной. Опыт Майкельсона дал, однако, отрицательный результат: скорость света оказалась независимой от движения Земли «в эфире». Удовлетворительного объяснения опыта Майкельсона в рамках идеи мирового эфира так и не было дано, пока в 1905 году Эйнштейн не высказал утверждение, что свет распространяется с одной и той же скоростью относительно всех тел, движущихся с постоянной скоростью одно относительно другого. Это составило основную посылку специальной теории относительности: скорость света – одна и та же во всех системах отсчета, движущихся относительно друг друга без ускорения. Теория Эйнштейна, отказавшись от классического правила сложения скоростей, смогла подчинить принципу относительности все процессы, происходящие в равномерно и прямолинейно движущихся системах. Все эти процессы (как механические, так и оптические) не изменяются под влиянием движения систем – это второе положение специальной теории относительности.

Созданием теории относительности Эйнштейн изгнал мировой эфир, как носителя световых волн, из физической картины мира, в результате учение о свете было освобождено от механических компонентов. На место светового эфира Эйнштейн поставил электромагнитное поле как самостоятельную физическую реальность. При этом соотношения старой, классической механики получались из теории относительности как предельный случай, когда скорость света можно считать бесконечно большой по сравнению со скоростями медленно движущихся тел.

При создании теории относительности важным отправным пунктом для Эйнштейна был анализ понятия одновременности. Исходя из конечности скорости света как максимальной скорости передачи сигналов, Эйнштейн пришел к выводу, что говорить об абсолютной одновременности далеко отстоящих друг от друга в пространстве событий не имеет смысла. Поэтому понятия «абсолютной одновременности» не существует. Внесение относительности в понятие одновременности неотвратимо влекло за собой и внесение относительности в понятие времени.

Если не может быть абсолютной одновременности, то не существует также абсолютного, одинакового для всех систем отсчета времени. А значит, не существует «абсолютного движения»: движение тела или системы отсчета можно лишь сравнивать с движением другого тела или системы отсчета. Таким образом, каждое событие нужно рассматривать в рамках единого пространственно-временного представления о мире.

Законченную математическую форму специальная теория относительности приобрела благодаря усилиям Германа Минковского, бывшего учителя Эйнштейна, профессора математики в Геттингене. Минковский представил «событие», т.е. пребывание частицы в данный момент в данном месте, в виде точки в 4-мерном пространстве (3 пространственные и 1 временная координаты). Движение изображается последовательностью таких «мировых точек», а совокупность всех «событий» образует 4-мерный континуум пространства-времени, названный «миром». «Мир Минковского» стал неотъемлемой частью теории относительности.

Теория относительности сразу приобрела большую известность, появились ее сторонники и противники, она вызвала оживленную дискуссию не только в научной среде, но и в средствах массовой информации, так как ставила познание мира на совершенно новый, качественно отличный от предыдущих уровень. Научная слава Эйнштейна начала быстро распространяться по всему миру. По предложению Планка и Нернста в 1913 году Эйнштейн был избран действительным членом Берлинской Академии наук и вскоре переехал из Цюриха в Берлин, где развил активную научную деятельность.

В 1916 году в «Анналах физики» появилась работа Эйнштейна «Основы общей теории относительности». Общая теория относительности, в отличие от специальной, которая разработана для систем, движущихся равномерно и прямолинейно, относится к произвольно движущимся системам. Ее уравнения справедливы и для систем отсчета, движущихся с ускорением, и для вращающихся систем. По своему содержанию, однако, общая теория относительности главным образом пред-

ставляет собой учение о тяготении, о гравитационных полях. Отправным пунктом для создания теории явился выдвинутый Эйнштейном принцип эквивалентности сил инерции, возникающих в ускоренно движущихся системах, и сил тяготения: оба вида этих сил пропорциональны массам тел, поэтому внутренние эффекты, вызванные ускорением, можно приписать тяготению. Эйнштейн предположил далее, что за счет тяготения могут быть объяснены не только динамические, но и оптические явления. Для этого он допустил, что свет обладает гравитационной массой, тем самым ограничив специальную теорию относительности (принцип постоянства скорости света) областями, где гравитационными силами можно пренебречь. При этом удалось распространить принцип относительности на все движущиеся системы.

Для доказательства относительности ускоренных движений Эйнштейн отождествил тяготение с искривлением пространства-времени. Он показал, что пространство не является однородным, а по своей геометрической структуре зависит от распределения масс, от вещества и поля. Всеобщая справедливость геометрии Евклида уже не могла сохраниться, она оказалась предельным случаем при слабых взаимодействиях масс. В общем же пространстве царит неевклидова геометрия, теорию которой разработал Риман. В римановой геометрии, которая благодаря Эйнштейну приобрела физический смысл, говорят об «искривленном» пространстве, где нет прямых линий, а есть лишь линии кратчайшего расстояния между двумя точками (как на шаре). «Кривизна» пространства определяет геометрическую форму траекторий движения тел в поле тяготения.

Для экспериментальной проверки выводов из общей теории относительности Эйнштейн указал три «эффекта». Первый – смещение перигелия Меркурия (т.е. ближайшей к Солнцу точки его эллиптической орбиты). В теории Эйнштейна это явление объяснялось как «возмущение» структуры пространства воздействием массы Солнца. Точное совпадение наблюдаемого смещения с величиной, вычисленной по теории, послужило сильной поддержкой для учения Эйнштейна.

Вторым эффектом является отклонение (искривление) световых лучей звезд вблизи Солнца, благодаря наличию у света гравитационной массы. Отклонение луча можно заметить, сфотографировав звездное небо: если луч звезды пройдет вблизи Солнца, он отклонится, и на фотографии изображение звезды окажется смещенным по сравнению с фотографией, сделанной в отсутствие Солнца в наблюдаемой части неба. Этот эффект можно было заметить только во время солнечного затмения, так как когда Солнце на небе, звезды нельзя ни увидеть, ни сфотографировать. Нужно было выбрать такое затмение, когда Солнце находится на пути лучей ярких звезд. Такое наблюдение было осуществлено английской астрономической экспедицией в Гвинею и Бразилию в 1919 году. При сопоставлении фотографий, полученных во время затмения, с фотографией, сделанной ночью (т.е. в отсутствие Солнца на пути лучей звезд), было зарегистрировано смещение, предсказанное теорией Эйнштейна.

Третьим эффектом для проверки теории тяготения Эйнштейна является «релятивистское красное смещение», т.е. смещение спектральных линий света, приходящего к нам от гигантских звезд, по сравнению со светом, который при помощи молекул того же вида создается на Земле. Этот вывод теории Эйнштейна подтвердился при исследовании излучения спутника Сириуса.

После завершения работы над общей теорией относительности Эйнштейн занялся проблемой создания единой теории поля, сводящей воедино свойства гравитационного и электромагнитного полей. Этой проблемой он занимался вплоть до своей кончины в 1955 году, однако она осталась неразрешенной.

В истории человечества Альберт Эйнштейн остался как глубочайший физик-мыслитель, великий преобразователь естествознания, создавший новую картину мироздания.