

БКК
72
Н 340

НАУКА ВЕЛИЧАЙШИЕ ТЕОРИИ

ДИРАК
Антивещество

32



Темная сторона материи

DeAGOSTINI

ДИРАК
Антивещество

Темная сторона материи

Наука. Величайшие теории: выпуск 32: Темная сторона материи. Дирак. Антивещество. / Пер. с франц. — М.: Де Агостини, 2015. — 160 с.

Поль Дирак, как и Ричард Фейнман, — один из главных представителей «второго поколения» ученых, обратившихся к квантовой механике после первопробных работ Планка и Эйнштейна. Знаменитое уравнение, носящее имя Дирака и детально описывающее поведение некоторых частиц, в том числе электрона, впервые объединило теорию относительности и квантовую теорию. Уравнение Дирака доказало возможность существования «антиподов» известных на тот момент частиц — электрона, протона и других. Открытые новые частицы известны нам как антивещество. Молчаливый и замкнутый, скромный и всецело увлеченный своей работой, этот английский инженер стал ученым, который разработал одну из самых передовых теорий современной физики.

ISSN 2409-0069

552 055

© Juan Antonio Caballero Carretero, 2012 (текст)

© RBA Coleccionables S.A., 2014

© ООО «Де Агостини», 2014–2015

БИБЛИОТЕКА
ФГАОУ ВО
Сибирский федеральный
университет

Иллюстрации предоставлены:

Age Fotostock: 25b, 61b, 123, 151h; Carl D. Anderson/
American Physical Society: 109; archives RBA: 25h, 33, 44,
49, 107; Piotr Baracz: 149; Cambridge University Press: 146;
Benjamin Couprie/Département de l'Énergie des États-Unis:
121h; Benjamin Couprie/Institut International de Physique
Solvay: 101b; Fondation Nobel: 82; Getty images: 61hg, 101h,
121b, 151b; Institut Danois de la Cinématographie: 61hd;
Wilhelm Röntgen: 28; Ferdinand Schmutzer/Musée d'histoire
de Bern: 20b; François Séraphin Delpech: 47; Smithsonian
Institution Libraries: 20h, 52; photographie de couverture:
akg-images/Interfoto/D. H. Teuffen.

Все права защищены.

Полное или частичное воспроизведение
без разрешения издателя запрещено.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1. Первые годы	15
ГЛАВА 2. Квантовая механика	39
ГЛАВА 3. Релятивистская теория электрона. Антивещество	71
ГЛАВА 4. Квантовая электродинамика	113
ГЛАВА 5. После великих открытий	139
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	155
УКАЗАТЕЛЬ	157

Введение

В Вестминстерском аббатстве 13 ноября 1995 года была установлена скромная мемориальная доска в честь Поля Адриена Мориса Дирака. На ней можно увидеть лишь дату рождения и смерти, имя, слово «физик» и короткое уравнение: его релятивистское уравнение электрона. Простота доски прекрасно отражает личность Дирака, который избегал света прожекторов и не любил показываться на публике. В отличие от других выдающихся физиков своего времени, Поль Дирак занимался только академической работой и не принимал участия в иной общественной деятельности. Под конец жизни, когда его имя уже гремело в научном мире, он не мечтал о публикации общих популяризаторских трудов, рассказывающих о его философских идеях и отношениях с коллегами. Дирак полностью посвятил себя научной работе и тщательно скрывал свою частную жизнь. Желая избежать всякой публичности, он даже сначала отказался от Нобелевской премии, а согласился принять ее лишь после слов Резерфорда о том, что его отказ вызовет еще больший резонанс.

Особенности характера Поля Дирака во многом объясняют то, почему широкая публика так мало о нем знает. Смерть ученого 20 октября 1984 года в Таллахасси (Флорида) была удостоена лишь краткого сообщения в *The Times*. Тем не менее научное сообщество считает Дирака одним из самых блестя-

щих и значительных физиков в истории этой науки. Наряду с Ньютоном и Максвеллом он является одним из трех самых выдающихся физиков Соединенного Королевства. Может показаться удивительным, что после его смерти прошло целых 11 лет, прежде чем ему воздали национальные почести и установили мемориальную доску рядом с могилой Исаака Ньютона. В тот день Стивен Хокинг, открывая церемонию, произнес: «Дирак, наверное, более чем кто-либо, за исключением Эйнштейна, способствовал развитию физики и радикальному изменению нашего видения Вселенной в этом веке. Бесспорно, он заслуживает чести быть увековеченным в Вестминстерском аббатстве. Даже возмутительно, что этого момента пришлось ждать так долго».

В конце XIX века физика опиралась на два столпа — механику Ньютона и электромагнетизм Максвелла. Эти две великие теории позволяли объяснить практически все природные явления. Нетрудно представить себе настроения, царившие в среде физиков того времени: все казалось познанным, и роль ученых заключалась лишь в осуществлении специальных расчетов для решения конкретных проблем или же в проведении более детальных опытов в рамках существующих теорий. Физика не казалась притягательной областью исследований для молодых студентов, избравших научную стезю. Но такая картина омрачалась двумя «крошечными» проблемами, которые лорд Кельвин называл «облачками». Кто бы мог подумать тогда, что «облачка» разразится самой сильной грозой из всех, что когда-либо видело человечество? Из противоречий между теорией Ньютона и теорией Максвелла родилась теория относительности; а излучение абсолютно черного тела, которое давно не давало покоя ученым, привело к рождению квантовой физики. Эти теории возникли в XX веке и произвели революцию. Если теория относительности стала плодом труда одного ученого — Альберта Эйнштейна, — то квантовая теория потребовала работы и совместных усилий самых блестящих умов того времени, среди которых был и Дирак.

Первые годы жизни Дирака совпали с этими серьезными переменами в мире физики. В 1900-м, за два года до его рож-

дения, Планк представил свои работы по изучению излучения абсолютно черного тела, ознаменовавшие рождение квантовой физики. А Эйнштейн, помимо прочего, опубликовал в 1905 году свою специальную теорию относительности и смог объяснить фотоэлектрический эффект. Через десять лет, когда Дираку едва исполнилось 13, появилась на свет общая теория относительности. Молодой человек следил за этими изменениями — особенно за теми, что были связаны с теорией относительности, — с огромным интересом, но исключительно по собственной инициативе. Несмотря на врожденные способности к математике, во время учебы Дирака на инженерном факультете трудно было представить, что однажды он сыграет столь важную роль в области физики. Как часто случается, неожиданные перемены открыли для Поля новые перспективы и перевернули его судьбу. Глубокий экономический кризис, наступивший в Англии после Первой мировой войны, не позволил ему найти работу в качестве инженера; таким образом, Дирак закончил изучение математики в университете Бристоля и отправился в Кембридж, чтобы заняться физикой.

В 1923 году, вскоре после прибытия Дирака в Кембридж, в его жизни произошел еще один поворот. Будущий ученый был очарован общей теорией относительности, которую глубоко изучил во время университетских лет в Бристоле. Это подтверждает и его собственное замечание, сделанное годы спустя: «Если бы Эйнштейн не опубликовал в 1905 году специальную теорию относительности, это скоро сделал бы кто-нибудь другой. Зато все было совсем иначе с общей теорией относительности. Возможно, без Эйнштейна мы и сегодня еще только ждали бы ее». Однако Дирак не смог осуществить свое желание и заняться углубленным изучением данной теории: профессор Эбенезер Каннингхэм, руководивший исследованиями, решил не брать студентов. Дираку назначили другого руководителя — Ральфа Фаулера, который специализировался в только что появившейся квантовой теории. Дирак окунулся в странный квантовый мир, по его собственным словам, практически незнакомый ему. Полю понадобилось два года работы

и усердных занятий, чтобы подготовиться к уже намечающимся потрясениям в области физики.

Важное событие, определившее научную карьеру Дирака, произошло в 1925 году, после его ознакомления с трудами Вернера Гейзенберга. Работы последнего на самом деле послужили толчком для построения новой квантовой теории, названной «квантовой механикой». Они оказали заметное влияние на Дирака и пробудили его творческий гений. Дирак в то время начал публиковать свои первые статьи и стал одним из основателей новой теории. В Кембридже он трудился в одиночестве, осуществляя исследования автономно и даже почти втайне. Свой подход к изучению проблемы он описывал так: «Большая часть моей работы в те годы заключалась в игре с уравнениями и наблюдением за тем, куда приведет меня эта игра». Результат оказался невероятным. Макс Борн описал его очень красноречиво: «Это было одно из самых больших потрясений за всю мою научную карьеру. Имя Дирака мне было совершенно незнакомо. Автор был очень молод, однако все в его подходе было прекрасным. Это было восхитительно». Такую почти болезненную склонность к секретности Дирак сохранил на всю жизнь. Когда он разрабатывал релятивистскую теорию электрона — одно из самых важных своих открытий, — даже его самые близкие коллеги по Кембриджу узнали о ней только из опубликованной статьи. Во время работы ученый не обмолвился о ней ни словом и не дал возможности даже предположить, что именно является предметом его изучения.

Период с 1925 по 1933 год известен как «героический» в жизни Дирака. Благодаря своей научной деятельности он стал одним из крупнейших физиков в истории. Всего за восемь лет из совершенно неизвестного ученого Дирак превратился в лауреата Нобелевской премии. Слава не изменила его привычек, он остался таким же отстраненным и недоступным — как для широкой публики, так и для своих студентов и коллег. За исключением физики и двух своих серьезных увлечений — путешествий и прогулок в горах, — Дирак не выказывал никакого интереса к любой другой деятельности или области знания. Его жизнь вращалась вокруг работы и научных

публикаций; написание его биографии, таким образом, сводится по большей части к комментированию трудов ученого. Это и есть главная цель данной книги. В следующих главах мы представим и объясним ключевые научные открытия Дирака. Однако для лучшего понимания работы Дирака нужно знать и основные события его жизни.

Работы ученого во время его «героического периода» окончательно изменили физику того времени и заложили основы для будущего развития теоретической физики. На самом деле практически невозможно понять современную физику без учета вклада Дирака. Какими были его главные научные свершения и почему они считаются настолько важными? Дирак является одним из основателей квантовой физики. Независимо от немецких коллег он разработал новый формализм квантовой теории — «квантовую алгебру». Дирак придал квантовой теории самую строгую и универсальную математическую форму — «самое прекрасное представление квантовой механики», по словам Эйнштейна. Его теория преобразований включает три знаменитых формализма квантовой теории: матричную механику, волновую механику и квантовую алгебру. Квантовая теория благодаря Дираку получила единый и последовательный подход, а также физическую интерпретацию волновой функции. Таким образом, Дирак ввел в обиход представления и понятия, которые являются частью используемого сегодня языка любого текста по квантовой механике. Каждый студент, изучающий физику, должен знать «обозначения Дирака», или «обозначения бра и кет» и свойства функции (функции Дирака), прежде чем приступить к квантовой теории.

Самыми большими открытиями британского ученого, поразившими его коллег, стали, наверное, выведение квантового релятивистского уравнения электрона и теория взаимодействия излучения и вещества. Впрочем, оба эти открытия взаимосвязаны. Приложение релятивистской теории к квантовому миру ясно показывает, в чем заключается главная проблема: количество частиц не сохраняется. Принцип неопределенности Гейзенберга и принцип эквивалентности массы и энергии допускают существование процессов, во время которых частицы

постоянно рождаются и разрушаются. Даже если это явление присутствовало в релятивистском уравнении электрона, Дираку понадобилось несколько лет для того, чтобы полностью осознать его. Вместе с уравнением Дирака появился мир античастиц, а вместе с ним возник способ объяснения и описания взаимодействия излучения с веществом. Сегодня стандартная модель считается актуальной «парадигмой» физики. Квантовая теория поля стала концептуальной и математической основой, позволяющей нам описать поведение природы, начиная с ее основополагающих составляющих. Огромный вклад Дирака в физику заключается в том, что он заложил фундамент и ввел в обиход главные понятия, которые позволили развить квантовую теорию поля и теорию элементарных частиц.

Связь квантового релятивистского уравнения электрона и квантовой теории излучения породила квантовую электродинамику — теорию, объясняющую поведение электронов и антиэлектронов и то, как они взаимодействуют со светом и между собой. Дирак указал физике направление развития. Он первым заговорил о взаимодействии частиц как о процессе обмена фотонами, первым сослался на понятия эффективной массы и эффективного заряда, равно как и на метод перенормировки. Работы, осуществленные им в «героический период», составляют основу квантовой теории излучения. Они послужили источником вдохновения для многих физиков, которые спустя 20 лет развили его идеи в «новую» квантовую электродинамику. Эта физическая теория остается одной из самых точных вплоть до наших дней. Именно квантовая теория поля стала великим наследием Дирака и одновременно, как мы увидим, его самым большим разочарованием.

В книге *«Великие физики»*, написанной Уильямом Кроппером, собраны биографии некоторых важнейших представителей этой науки. Каждому жизнеописанию предшествует одна простая фраза, заключающая в себе основное качество или главную характеристику личности. Фраза перед биографией Дирака представляет собой одно-единственное уравнение (оно же воспроизведено и на мемориальной доске в Вестминстерском аббатстве). Редко случается такое отождествление

физика и уравнения, исключение представляет собой лишь Эйнштейн и его знаменитое соотношение энергии и массы. Но глобальная разница заключается в том, что все знают формулу Эйнштейна, тогда как уравнение Дирака никому не известно — как того всегда и хотел Дирак. Речь идет о формально простом и лаконичном уравнении: $(i\gamma \cdot \partial - M)\psi = 0$. Однако оно включает в себе неожиданное открытие — антивещество, и объяснение решений уравнения Дирака привело к настоящей революции.