



А. ЭЙНШТЕЙН
(1905 г.)

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ПАМЯТИ АЛЬБЕРТА ЭЙНШТЕЙНА

А. Ф. Иоффе

Умер Эйнштейн — Ньютон XX века, каким он был для самой широкой общественности. Кроме Рентгена, открытие которого поразило воображение возможностью заглянуть во внутрь непрозрачных для глаза предметов, один только Эйнштейн из всех физиков нашего времени достиг такой же широкой популярности.

Как бы ни толковали понятие «относительности», о ней говорили все, ею заинтересовались во всём мире. Но в отличие от рентгеновых лучей, воспринятых как новый путь познания вещей и как подарок науки здоровью людей, идеи Эйнштейна сделались ареной ожесточённой борьбы.

Для физиков всего мира и прежде всего для советских физиков не существует вопроса о справедливости теории относительности — этот вопрос давно решён: это наилучшее обобщение законов движения, доступное на том этапе физики, который достигнут в наше время. Задачей физиков является применение теории к реальным проблемам, дальнейшее углубление её содержания и лучшее понимание её философских выводов.

Эйнштейн — это автор теории относительности, гениальный преобразователь и продолжатель начал Ньютона и только — таково представление далёких от физики слоёв интеллигенции.

Для физиков же, и в особенности для физиков моего поколения — современников Эйнштейна, незабываемо появление Эйнштейна на арене науки. В 1905 г. в «Анналах физики» появилось три статьи, положившие начало трём наиболее актуальным направлениям физики XX века. Это были: теория броуновского движения, фотонная теория света и теория относительности. Автор их — неизвестный до тех пор чиновник патентного бюро в Берне Эйнштейн-Марити (Марити — фамилия его жены, которая по швейцарскому обычаю прибавляется к фамилии мужа).

Статья о броуновском движении вскрыла физическую природу теплового движения и привела вскоре к экспериментальному

Марити

определению числа Авогадро и к опытному доказательству атомного строения вещества. После работ Больцмана и Максвелла, Эйнштейн сделал следующий решающий шаг в этом направлении.

Через несколько лет, рассматривая диффузию сахара в воде, Эйнштейн смог оценить геометрические размеры отдельных молекул. Он установил универсальную связь коэффициента диффузии D с подвижностью u в электрическом поле

$$\frac{D}{u} = \frac{kT}{e}. \quad (1)$$

Ещё через три года, в 1911 г., исходя из квантового характера обмена энергии в твёрдом теле, Эйнштейн объяснил температурный ход теплоёмкости. Он показал, как из хода теплоёмкости можно определить частоту собственных колебаний частичек, из которых построено твёрдое тело.

В этой работе заложены были основы всего дальнейшего развития квантовой теории твёрдого тела. Через год теория резонаторов Эйнштейна была развита Борном и Карманом для кристаллической решётки, а ещё год спустя — Дебаем для непрерывного упругого тела. В этой последней форме теории теплоёмкости суждено было стать классической на протяжении ряда десятилетий.

Статистическая теория теплового движения получила новое направление в работах Эйнштейна по теории вырожденного газа и по новому виду статистики Бозе — Эйнштейна.

Каждая из перечисленных здесь работ Эйнштейна открывала новую страницу в учении о тепловых свойствах физических тел. Каждая из этих работ становилась исходным пунктом нового направления исследования.

Вторая из статей 1905 г. посвящена была новому пониманию свойств света. Хорошо известно, что ещё в 1900 г. Планк, исправляя данное им прежде выражение для энтропии излучения, пришёл к статистике процесса излучения в виде отдельных квантов с энергией $h\nu$, где ν — частота, а h — универсальная постоянная Планка. Планк считал полученный им результат выводом из своего выражения для энтропии и только Эренфест показал позднее, что кванты — гипотеза, положенная в основу вывода формулы чёрного излучения, а не вывод из неё. Планк стремился по возможности сузить новизну своей теории, ограничив её специфическими свойствами излучения света атомами.

Эйнштейн, научная мысль которого, в противоположность Планку, требовала радикальных решений, выражающих подмеченную им новую сторону в явлениях природы, увидел в квантах не удачный математический приём, а средство вскрыть существо света.

От излучающего механизма Эйнштейн перенёс квантовую природу в излучаемую телом лучистую энергию. Сам свет состоит по Эйнштейну из фотонов, энергия которых $h\nu$ целиком определяется частотой. Во всех процессах взаимодействия света с веществом Эйнштейн сумел подметить фотонную структуру света.

Для вырывания электронов светом (внешний фотоэффект) Эйнштейн выводит фундаментальное соотношение между кинетической энергией электронов и частотой света в виде закона Эйнштейна

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu - P, \quad (2)$$

где P — работа, затрачиваемая на переход через границу тела.

В 1907 г. мне удалось показать соответствие фотонной теории с опубликованными тогда измерениями Ладенбурга, которые тот связывал с теорией резонанса Ленарда. Тогда же я приступил к прецизионной проверке закона Эйнштейна на натрии и калии. Но эти результаты были опубликованы Миликеном раньше моего и, повидимому, точнее. ? *еще*

В 1909 г. я попытался вывести все законы равновесной лучистой энергии из теории фотонов и их аналогии с молекулами кинетической теории газов. При этом оказалось, что для получения правильной формулы спектрального состава излучения абсолютно чёрного тела необходимо применить видоизменённую статистику. Ю. А. Кругов доказал это положение; статистика, как оказалось позже, совпадает со статистикой Бозе — Эйнштейна.

На этом примере я мог убедиться, как различны научные методы Эйнштейна (сторонником которого я был в этом вопросе) и Планка. Последний, познакомившись с моей статьёй, которую он затем всё же опубликовал в своём журнале — *Анналах физики*, убеждал меня в необходимости оставаться на почве классических представлений Максвелла и не идти дальше, чем это крайне необходимо, ограничиться своеобразием механизма излучения, допустить, если это окажется неизбежным, своеобразие в поглощении света электроном и ряд других частных гипотез, но не порывать с теорией электромагнитного поля и не посягать на самый свет. «Классическая теория дала нам столько полезного, что к ней надо относиться с величайшей осторожностью и охранять её», — говорил Планк.

В 1905 г. для формулы (2) не было ещё экспериментального подтверждения, но установлено уже было важнейшее, парадоксальное с классической точки зрения, свойство внешнего фотоэффекта — независимость скорости фотоэлектронов от интенсивности света. Этот факт нашёл естественное объяснение в теории фотонов.

Другая область явлений — люминесценция — подтверждала идею Эйнштейна о качественном росте фотонов с частотой. Эмпирическое ?

правило Стокса утверждало, что частота поглощённого света всегда больше частоты света, излучаемого при флуоресценции и фосфоресценции. В правиле Стокса Эйнштейн увидел новое подтверждение идеи фотонов.

Третье обширное поле для проверки теории представляла фотохимия. Та же независимость наступления фотохимической реакции от интенсивности света и прямая связь с его частотой, та же градация эффекта с ростом частоты, как и во внешнем фотоэффекте, как в люминесценции.

Статья Эйнштейна была насыщена таким ярким физическим содержанием, таким глубоким проникновением в механизм явления, что она убедила многих физиков — преимущественно тех, кто имел дело с электронными явлениями. Но оптики ещё долго противились теории, посягнувшей на резонансную теорию дисперсии, на достижения дифракционной теории оптических приборов. Только объяснение оптических серий на основе теории атома Бора примирило оптиков с квантовыми идеями.

Статья 1905 г. о лучистой энергии не осталась изолированной в творчестве Эйнштейна. Достаточно вспомнить ставшую классической его теорию равновесного излучения как результата излучения и поглощения при нарушении равновесия. Установленные этой теорией законы излучения послужили примером для вычисления процессов обмена энергией при элементарных процессах.

Не приходится тратить много слов на теорию относительности — её историю знает каждый физик. Переход от преобразований Лорентца и от гипотезы Лорентца — Фицджеральда к частной теории относительности Эйнштейна, законы сложения скоростей, проблема одновременности, знаменитое соотношение между массой m и запасом энергии тела U :

$$U = mc^2, \quad (3)$$

где c — скорость света, которая становится предельной скоростью распространения энергетических процессов, — всё это вошло в кровь и плоть современной физики.

Известно так же как за частной теорией последовало в 1911 г. обобщение её на ускоренное движение, а в 1915 г. общая теория относительности, включившая теорию тяготения и связь геометрии с наличием массы.

Эйнштейн поставил перед собою дальнейшую задачу — единую теорию поля, сочетающую электромагнитное поле с тяготением. Одна за другой следовали попытки создать единую теорию, но все они одна за другой оказывались несостоятельными и отвергались критикой.

Единая теория поля означала решительный перелом в научной деятельности Эйнштейна. До неё Эйнштейн поражал богатством и разносторонностью своих интересов вплоть до теории, объясняю-

шей, почему правые берега рек выше левых, до изобретательства новых конструкций полиграфических машин.

Единая теория поля сделала из Эйнштейна узкого специалиста, стремящегося к широким горизонтам. Почти 40 последних лет своей жизни Эйнштейн отдал этой теории. Мимо него шла бурная эпоха «новой квантовой механики», ядерная физика, возрождение физики твёрдого тела на полупроводниках. { ?

Мне кажется, можно понять причины, оставившие Эйнштейна в стороне от главных путей развития физики последних десятилетий. Ещё 30 лет тому назад Эйнштейн говорил мне, что он ничего больше не сделает в жизни, если не решит проблемы единой теории поля. Спустя 5 лет, во время нашей совместной поездки на конгресс Сольвея, я пытался рассказать ему, кто такой Эйнштейн как физик и в чём его долг перед физикой. В ответ я получил заверение, что он сделает всё, что в его силах, чтобы углубиться в физику сегодняшнего дня и попытаться разрешить её затруднения, но что он заранее сомневается в удаче. Пока нет единого поля, для меня нет физики — таков был смысл его слов.

Чтобы понять такое уmonoстроение, нужно представить себе научную личность Эйнштейна. Для него вся природа и тем более вся физика представлялась единым целым, внутри которого не может существовать неразрешённых противоречий. Он упорно искал корни видимых противоречий и смело строил физическую картину, лишённую внутренних несовершенств, выдвигал эвристические пути объединения теории.

Я часто вспоминаю случай, показавший, как Эйнштейн строит своё миропонимание: как-то он заинтересовался моими исследованиями свойств кристаллов и просил изложить их ему. В 3 часа дня я приступил к этой задаче и через 2 часа закончил её. Тогда начался поразительный процесс освоения новых фактов и идей, сопоставление их с самыми разнообразными сторонами существовавшей у Эйнштейна физической картины, и этот процесс продолжался в течение 9 часов — до 2 часов ночи. Всё это время Эйнштейн до того был поглощён своими мыслями, что всё окружающее им почти не воспринималось: ужинал он, например, так, что по команде жены брал на вилку пищу и отправлял её в рот, вряд ли сознавая, что он ест.

Возможно, что таким же односторонним сосредоточием мысли объясняется расплывчатость политических и философских взглядов Эйнштейна и непоследовательность в его повседневной жизни.

Эйнштейн был передовым учёным и высоко ценил построение социализма в нашей стране, осуществляющего заветные мечты лучших людей всех времён. В борьбе двух миров коммунизма и капитализма он был на нашей стороне и на мой прямой вопрос дал недвусмысленный ответ. Однако в философских высказываниях Эйнштейна можно встретить наряду с чёткими материалистическими

установками махистские и идеалистические идеи и переход «релятивизма» от физической теории к философскому агностицизму.

В частной жизни Эйнштейн был скромным человеком, чуждавшимся почестей. Я помню, как, узнав о предполагавшемся приходе группы его почитателей, он предложил скрыться от них и уйти часа на три в парк. Помню, как однажды Эйнштейн договорился, что придёт за мной к знакомым, где его игре на скрипке должны были аккомпанировать на рояли. Хозяева квартиры хотели воспользоваться этим, чтобы продемонстрировать своим гостям знаменитого Эйнштейна. Но, увидав посторонних, он одел шапку и остался только при условии, что все двери будут плотно закрыты и никого, кроме аккомпаниаторши, в комнате не будет. А игра Эйнштейна была чрезвычайно музыкальной и выразительной. Она представляла замечательный контраст с высокой техникой и глубокой спокойной гармонией у Планка как пианиста.

Круг его близких друзей включал сотрудников по физике и по изобретательству, которому он посвящал немало сил. Я видел его изобретающим вместе с одним зубным врачом новый тип печатного станка.

Ярко вспыхнувшая на физическом горизонте в 1905 г. новая звезда Эйнштейна определила важнейшие пути развития физики ближайших 20 лет и оставила неизгладимый след во многих и именно в решающих областях нашей науки. Если последние 30 лет, посвящённые единой теории поля, и не дали столь полезных результатов, то они внесли много глубоких идей и поставили ряд вопросов перед физикой будущего.
