

новское правило» встречается в печатных изданиях XVI в., по меньшей мере 17 раз [8].

Калькуляции и теория широт форм становятся также предметом университетских курсов в ряде городов Англии, Германии, Италии, Франции. Все эти обстоятельства содействовали широкому распространению идей как оксфордской, так и парижской школы. Юношеские записи Галилея свидетельствуют о его хорошем знакомстве с их натурфилософскими учениями. В еще большей мере об этом же говорит его вывод закона падения тяжелых тел в классическом «Беседах и математических доказательствах, касающихся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению», изданных в силу ряда обстоятельств с большим опозданием в 1638 г.; сам этот закон был выведен Галилеем еще до 1610 г. Близость вывода закона у Галилея и аналогичного предложения Оресма очевидна.

Общие идеи, отдельные результаты (включая «мертоновское правило») и терминология оксфордской школы оказали влияние не только на Галилея, но и на других выдающихся ученых Нового времени — изобретателя логарифмов Непера, таких учеников Галилея, как Кавальери и Торичелли, отчасти на Декарта³, затем на Барроу и, по крайней мере частично, на Ньютона. Одним из свидетельств этого влияния служит довольно долгое сохранение терминологии средневековой кинематики неравномерных движений даже у более поздних ученых, как, например, в XVIII в. у Маклорена. В этом списке следует назвать и Лейбница, который знал и высоко ценил Суайнхеда, читал Галилея и Кавальери и т. д., хотя в своем «анализе бесконечных» Лейбниц в большей мере руководствовался геометрико-алгебраическим подходом, чем кинематическим. Было бы неверно, конечно, и преувеличивать значение и возможности рассмотренных здесь учений. Внутренние математические ресурсы их были слишком недостаточны, чтобы их непосредственное развитие могло привести к созданию анализа переменных величин, разработанного в своих основах на протяжении XVII в. для решения новых насущных проблем астрономии, механики, оптики.

Это, однако, уже другой вопрос, выходящий за пределы рассматриваемой проблемы.

Выделив теорию конфигурации качеств, составляющую одну из глав средневековой математики, мы проиллюстрировали ту закономерность процесса математизации знания, о которой говорилось в самом начале, — именно стимулирующую роль философских концепций. Эта закономерность проявилась затем и в идее так называемой универсальной математики Декарта, реализованной в его тесно спаянной с геометрией алгебре, и в более грандиозной идее «всеобщей характеристики» Лейбница, с которой связана была разработка им дифференциального и интегрального исчисления. Позднее философия и наука обособляются гораздо более, чем в средние века, и многие философы не занимаются глубоко математикой, а математики не строят больших философских систем. Однако и далее представители так называемых точных наук руководствуются некоторыми общими философскими принципами, а философы стремятся как не пользоваться научными исследованиями, так и воздействовать на них.

Резюмируя, можно сказать, что пример средневековых теорий, кратко рассмотренных выше, является одним из свидетельств плодотворного взаимодействия методологической и научной мысли, точную границу между которыми и в наше время, как и в древности, провести невозможно.

³ Известно, что Декарт одно время был близок с голландским ученым И. Бекманом, в дневнике которого за ноябрь-декабрь 1618 г. содержится оригинальный вывод закона Галилея [8, с. 417—418].

1. Колмогоров А. Н. Математика // БСЭ. 1-е изд. 1938. Т. 38. С. 359—394; 2-е изд. 1954. Т. 26. С. 464—483. 3-е изд. 1973. Т. 15.
2. Юшкевич А. П. История математики в Средние века. М., 1961.
3. Crombie A. C. Robert Grosseteste and the origins of experimental Science. 1100—1700. Oxford, 1953.
4. Зубов В. П. Из истории средневековой атомистики // Тр. Института истории естествознания АН СССР. Т. 1. М., 1947. С. 283—314.
5. Galilei G. Le Opere. V. VI. Firenze, 1981.
6. Descartes R. Oeuvres. V. II. P., 1897.
7. Зубов В. П. Развитие атомистических представлений до начала XIX века. М., 1965.
8. Clagett M. The Science of Mechanics in the Middle ages. Medison, 1959.

Б. В. БУЛЮБАШ (г. Горький)

НА ПУТИ К ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ТЕОРИИ СВЕТА: ЕДИНСТВО ЦЕЛЕЙ ИЛИ БОРЬБА ПРОГРАММ?

События, предшествующие научной революции, историк науки обычно представляет как борьбу нескольких теорий. В рамках такой модели научная революция означает победу одной из теорий и поражение остальных.

Так, развитие электродинамики в 40—80-х годах прошлого столетия до недавнего времени описывалось исключительно как конкурентное развитие электродинамики дальнего действия и теории электромагнитного поля Дж. Максвелла. При этом основное расхождение между ними связывается с гипотезами об электромагнитной природе световых волн и о равенстве скорости электромагнитной волны скорости света. Эти гипотезы совпадали с выводами теории Максвелла.

Основываясь на анализе первоисточников, мы стремились показать популярность указанных гипотез и среди тех членов научного сообщества, которых традиционно относят к сторонникам концепции дальнего действия. Это, несомненно, свидетельствует о размытости границы, отделявшей электродинамику дальнего действия от теории электромагнитного поля. Утверждение о борьбе этих теорий и об их непримиримом противостоянии становится поэтому необоснованным.

Признание того, что между световыми и электрическими явлениями существует связь, соотносится с электромагнитной теорией света Максвелла, поскольку именно Максвеллом в 1862 г. было показано, что скорость распространения электромагнитных колебаний совпадает с измеренным Вебером и Кольраушем отношением единиц заряда.

Эксперимент Вебера — Кольрауша расценивается как одно из важнейших событий физики XIX столетия¹. Весьма распространено мнение, что, хотя численное значение найденного в эксперименте отношения единиц заряда в разных системах единиц оказалось близким к величине скорости света, Вебер и Кольрауш не обратили на это внимания. «По-видимому, они его считали случайным и не придавали ему никакого значения» [2, с. 103]. Такая точка зрения (подкрепленная оценкой Вебера как безусловного сторонника принципа дальнего действия) приводит к выводу, что Веберу электрические и световые явления представлялись не связанными друг с другом.

В статье показана ошибочность этой точки зрения. Подчеркнуто, что, не

¹ Единственное (из известных нам) историко-научное исследование, в котором эксперимент Вебера — Кольрауша проанализирован в контексте развития физики XIX столетия, — это статья итальянского историка науки С. Д'Агостино [1].

подвергая сомнению существование связи между светом и электричеством, Вебер, однако, основной целью эксперимента считал определение входившей в «закон силы» константы C_w .

«Закон силы» — закон, описывающий в электродинамике Вебера взаимодействие движущихся зарядов, имеет вид:

$$F = \frac{e e'}{r^2} \left[1 - \frac{1}{C_w^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{2r}{C_w^2} \frac{d^2 r}{dt^2} \right] \quad (1)$$

где e, e' — заряды; r — расстояние между ними; C_w — константа (то, что C_w в $\sqrt{2}$ раз превышает скорость света, было установлено в эксперименте Вебера — Кольрауша); F — сила взаимодействия.

Первое сообщение об экспериментальных исследованиях, выполненных совместно с профессором физики Марбургского университета Р. Кольраушем (1809—1858), было сделано В. Вебером (1804—1891), профессором физики Геттингенского университета, на заседании Королевского саксонского научного общества в Лейпциге 20 октября 1855 г.²

Определенное количество электричества, измеренное предварительно в электростатических единицах, пропускалось в эксперименте через цепь, в которую был включен тангенс-гальванометр — специально сконструированный авторами работы прибор, позволявший измерять силу тока в электромагнитных единицах — в соответствии с его действием на магнитную стрелку. Зная продолжительность разряда, можно было определить силу тока также и в электростатических единицах. Содержание эксперимента изложено, например, в [7; 8].

Ни в тексте доклада 1855 г., ни в статье 1857 г. нет упоминания о величине $C_w/\sqrt{2} = C$. В то же время именно эта величина определяет отношение единиц заряда в электростатической (у Вебера — механической) и электромагнитной системах СГС; в пределах ошибок она совпадает со скоростью света в вакууме. Тот факт, что величина $C_w/\sqrt{2}$ не упоминается в статьях Вебера, не случаен. Действительно, Вебера интересует прежде всего отношение единиц, в которых измеряется сила тока. Согласно же принятой Вебером модели тока, в проводнике предполагается наличие двух противоположно направленных потоков положительного и отрицательного электрических флюидов. Пусть E — количество электричества, измеренное в электростатической СГС системе единиц, совпадает с той же величиной, измеренной в принятой Вебером «механической» системе, а τ — время, за которое через поперечное сечение проводника протекает заряд E . Тогда сила тока в электростатической СГС системе единиц будет равна:

$$i_{\text{эл.-ст}} = E/\tau \quad (2)$$

В рамках принятой Вебером модели такой силе тока соответствует движение $E/2$ единиц положительного электрического флюида в одну сторону, $E/2$ единиц отрицательного флюида — в другую. В принятой Вебером «механической» системе единиц (в отличие от электростатической СГС системы длина в ней измеряется в миллиметрах, а масса — в миллиграммах) сила тока определяется соотношением:

$$i_{\text{мех}} = E/2\tau. \quad (3)$$

Поэтому:

$$i_{\text{мех}}/i_{\text{эл.-м.}} = 1/2 i_{\text{эл.-ст}}/i_{\text{эл.-м.}} = C/2 = C_w/2\sqrt{2}. \quad (4)$$

² Результаты эксперимента Вебера — Кольрауша изложены в трех публикациях: в докладе Саксонскому научному обществу в 1855 г. [3]; в «Annalen der Physik» в 1856 г. [4] и в наиболее полном виде в 1857 г. в «Трудах Королевского саксонского научного общества...» [5]. Перевод статьи [4] помещен в сборнике [6].

Именно отношение (4) встречается в статье Вебера.

Таким образом, вопрос о том, почему Вебер не обратил внимания на совпадение двух величин, просто теряет смысл, поскольку никакого совпадения не было. Он, однако, подчеркивает, что единственной физической константой, близкой по порядку величины к C_w , является скорость света. При этом C_w и C являются по смыслу разными величинами. Действительно, константа C_w — скорость, с которой должны двигаться друг относительно друга электрические массы, чтобы сила электродинамического взаимодействия между ними отсутствовала. Скорость света, напротив, представляет собой скорость волнового движения в эфирной среде. Именно это и имеет в виду Вебер, когда пишет: «... единственная нам известная скорость, приближающаяся к C_w , именно скорость света, не есть истинная скорость, с которой тела двигаются относительно друг друга» [3, с. 595].

Считая, что константа C_w и скорость света — разные по смыслу величины, Д'Агостино приходит к выводу, что в электродинамике Вебера предполагается резкое различие между световыми и электрическими явлениями [1, с. 285]. Подобный вывод ошибочен и основан на том, что работа Вебера и Кольрауша рассматривается вне контекста электродинамики Вебера в целом.

Историки физики значение поставленных Вебером и Кольраушем экспериментов связывают главным образом с той реакцией, которую результаты экспериментов вызвали у Максвелла. Д'Агостино, к примеру, заслугу Максвелла в первую очередь видит в том, что тот отказался от интерпретации C_w как «критической скорости», воспринимая $C_w/\sqrt{2}$ как коэффициент перевода между системами единиц.

Нас, однако, интересует главным образом то влияние, которое эксперименты Вебера и Кольрауша оказали на развитие идеи о конечной скорости передачи взаимодействия. Можно выделить несколько направлений такого влияния.

Уже в работе 1855 г. мы замечаем проявление своего рода «обратной связи», имея в виду те выводы, которые сделал, исходя из результатов эксперимента, сам Вебер. Так, подчеркивая огромное численное значение константы C_w , Вебер указывает, что все известные скорости, в том числе и скорости небесных тел, можно рассматривать как бесконечно малые по сравнению с C_w [3, с. 595]. Тем самым Вебер высказывает предположение, что и закон тяготения, совершенно аналогично его собственному закону, должен содержать динамическую часть.

Один из параграфов своей статьи Вебер посвящает вопросу о минимально возможном числе основных единиц измерения в физике [9]. Он предлагает рассматривать в качестве основных законов природы (*Grundgesetze der Natur*) два — гравитационный закон и основной закон электрического действия (I). Второй из названных законов позволяет установить единицу измерения времени, если установлена единица измерения длины. Единичное время, согласно Веберу [5, с. 666], соответствует времени удаления либо времени сближения двух электрических масс на единичное расстояние при условии, что их скорость $v = C_w$ и, следовательно, взаимодействие между ними отсутствует³.

После определения численного значения C_w стало возможным использовать в расчетах формулы, связывающие индуцируемую в элементе проводника ЭДС с изменением тока. Основываясь на этих формулах, Кирхгоф вывел волновое уравнение для силы тока в проводе бесконечно большой проводимости; скорость распространения волны тока совпала со скоростью света в воздухе [10]. Нам представляется, что именно эта статья связала в представлении физиков гипотезу о конечной скорости распространения электрического действия с результатами экспериментов Вебера и Кольрауша. Действительно, только у Кирхгофа константа $C_w/\sqrt{2}$ появляется, так сказать, «в чистом виде» и по смыслу пред-

³ Согласно (1), $F=0$ при $dr/dt=C_w$.

ставляет собой скорость распространения волны (электрической), т. е. статус ее становится тем же, что и статус скорости света.

Работа Кирхгофа была опубликована в 1857 г. Спустя семь лет, в 1864 г., было опубликовано исследование Вебера, в котором рассматривалась серия задач, связанных с распространением волн тока по проводам. Вполне естественно, что приоритет в этом вопросе принадлежит Кирхгофу [2, с. 103]. Нам, однако, удалось установить, что основная часть работы Вебера 1864 г. была выполнена примерно в то же время, что и работа Кирхгофа. Информация об этом содержится в небольшой заметке, которой редактор «Annalen der Physik» И. Х. Поггендорф сопроводил публикацию статьи Кирхгофа 1857 г. в своем журнале. Поггендорф, в частности, писал: «... Профессор В. Вебер, при его последнем пребывании в Берлине, когда я говорил с ним об исследовании профессора Кирхгофа, показал полностью разработанное им сочинение на ту же тему, которое он еще намеревается передать в печать...» [12]. Поггендорф сообщает также, что совпадение полученных независимо друг от друга результатов обсуждалось Кирхгофом и Вебером при личной встрече. Заметим здесь, что и сам Вебер отнюдь не безразличен к вопросу о приоритете и в своей статье ссылается на сообщение Поггендорфа [11, с. 130].

Таким образом, Вебера следует наряду с Кирхгофом считать автором исключительно важного для электродинамики результата — первого теоретически обоснованного свидетельства в пользу гипотезы о связи света и электричества.

Отмечая в статье, что существует максимальное значение скорости распространения волны по проводу (равное $C_w/\sqrt{2}=C$), Вебер указывает, что именно эта скорость была определена Кирхгофом как скорость распространения электрических волн.

Представляя свою работу [11] в 1863 г. Королевскому саксонскому научному обществу, Вебер, в частности, пишет: «... Такие электрические волны существенным образом отличаются от волн в эфире и в воздухе, посредством которых распространяются звук и свет; это следует, например, из того, что их скорость зависит от ...длины замкнутого провода, что совершенно противоречит законам распространения других волн» [11, с. 98]. Рассуждения об истинном волновом движении, по мнению Вебера, оправданы только на молекулярном уровне, при анализе движения электричества в виде токов Ампера, когда силы сопротивления полностью отсутствуют. Работа «О гальванометрии» (1862) была подготовлена Вебером до выхода из печати статьи 1864 г., но, безусловно, после завершения основных связанных с ней расчетов. В заключительном разделе Вебер отчетливо излагает свою гипотезу; в соответствии с ней время, за которое частица электричества совершает оборот вокруг молекулы, совпадает с периодом колебаний в световой волне [13].

Следует признать, что, отрицая связь между распространением электрической волны по проводу и распространением света, Вебер был не одинок. Данные, приведенные в сборнике «Из предьстории радио», убедительно показывают, что ясность в этом вопросе отсутствовала довольно долго [6].

Усматривая связь света и электричества исключительно в процессах, происходящих на молекулярном уровне, и считая при этом, что благодаря этой связи можно будет из оптических явлений установить свойства электрического флюида, Вебер предвосхищает реальное развитие событий. Действительно, наиболее значительным следствием открытия электрона было явление фотоэффекта, в котором «молекула света» оказывалась связанной с «молекулой электричества» [14, с. 361]. И именно теория фотоэффекта — теория взаимодействия света и электричества на уровне квантовых, молекулярных процессов — привела к радикальным переменам в основах физического знания и, следовательно, к переменам в представлениях о природе электричества.

Первая попытка интерпретации результатов эксперимента Вебера и Кольрауша в духе идеи запаздывающего дальнего действия была сделана Б. Риманом.

В 1858 г.⁴ Риман представил в Гёттингенское научное общество исследование, которое вскоре забрал обратно; публикация соответствующей статьи в «*Annalen der Physik*» в 1867 г. [15] была уже посмертной (статья Римана в течение года была переведена и напечатана в «*Philosophical Magazine*» [16]).

Статья начинается с замечания о том, что, предположив конечность скорости распространения действия одной электрической массы на другие, мы получим для распространения электрической силы дифференциальное уравнение такого же вида, как и уравнение для распространения световых и тепловых лучей [15, с. 237]. Следует заметить, что Риман был учеником Вебера и их связывали дружеские отношения. В процессе подготовки эксперимента 1855 г. Риман помог Веберу и Кольраушу провести некоторые расчеты [18, с. 176]. Поэтому можно предположить, что Вебер был знаком с полученным Риманом результатом и принципиальных возражений против выполненного им исследования не имел.

Риман отказывается от уравнения Пуассона для потенциала, заменяя его неоднородным волновым уравнением:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} - \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = 4\pi\rho, \quad (5)$$

где Φ — потенциал; α имеет размерность скорости, $\alpha^2 = C_{\infty}^2/2$; ρ — объемная плотность заряда.

Решение этого уравнения зависит от «запаздывающего аргумента» $t - r/\alpha$, где t — время, r — расстояние до «электрической массы», создающей поле.

Работа Римана имеет вполне определенную предысторию. Дело в том, что ему стало известно содержание письма Гаусса к Веберу, в котором впервые в отчетливой форме высказывалась идея о конечной скорости распространения электрического действия. Риман сообщает об этом в письме к сестре, оценивая свою работу как «открытие связей между светом и электричеством» [19, с. 150]. Отношение Римана к идее о конечной скорости распространения электрического действия было связано со стремлением достичь единства в описании физических явлений. Эта связь в значительной мере проявляется при знакомстве с остальными исследованиями Римана в области электромагнетизма, а также с опубликованными в его «Сочинениях» [20] «Фрагментами философского содержания» [20, с. 461—477]. Действительно, в 1854 г. после завершения работы «Новая теория остаточного заряда в аппаратах, служащих для накопления электричества» [20, с. 431—442], Риман пишет брату, что эта теория вытекает из его «общих исследований по связи между электричеством, светом и магнетизмом» (Цит. по: [20, с. 540]). В неопубликованном при жизни фрагменте «Новые математические принципы натурфилософии», датированном 1.03.1853 г., Риман пишет об объяснении электростатических сил, сил тяготения, распространения света и теплоты, а также «электродинамического или магнетического притяжения и отталкивания», «если допустим, что все бесконечное пространство наполнено однородной материей, каждая частица которой действует только на свое окружение» [20, с. 471]. В другом месте он пишет о том, что движение подобной субстанции «не следует пытаться объяснить движением и отталкиванием ее частиц» [20, с. 479]. Он подчеркивает, что «такого характера объяснения широко применяются в физике не вследствие их очевидности и — кроме электричества и тяготения — не вследствие их особой легкости, а вследствие того обстоятельства, что закон всемирного тяготения Ньютона — вопреки ожиданиям его творца — так долго не допускал более глубокого объяснения» [20, с. 473]. При этом

⁴ Немаловажным является то обстоятельство, что в 1867 г. было опубликовано письмо Гаусса Веберу от 18.03.1845 г. [17]. В этом письме, ставшем среди физиков широко известным, Гаусс выдвигает гипотезу о конечности скорости распространения электрических сил, указывая, однако, на сложности, связанные с формированием конструктивного представления о механизме распространения таких сил.

у Римана следует ссылка на известное место из письма Ньютона к Бентли, где говорится о нелепости принципа дальнего действия в его ортодоксальной формулировке, предполагающей взаимодействие двух тел через пустоту без участия промежуточной среды.

Исследование законов движения субстанции и исследование причин, объясняющих возникновение этого движения, Риман рассматривал как две различные по духу задачи, определяя первую как математическую, вторую — как метафизическую [20, с. 473]. Иначе говоря, Риман считал, что поиски ответа на вопрос о природе физических сил следует вести за пределами точного естествознания. В связи с этим немецкий астроном К. Ф. Целльнер, не замечая эфирных гипотез Римана, видит в нем сторонника концепции некоего «трансфизического дальнего действия» [21].

Предполагая нематериальной природу взаимодействия и в то же время вводя образ эфира как переносчика взаимодействий, Риман фактически отказывается от рассмотрения каких-либо моделей эфира. На наш взгляд, это вполне объяснимо, поскольку анализ подобных моделей неизбежно привел бы его в столкновение с дилеммой «дальнее действие — близкое действие» на молекулярном уровне.

Статья Л. Лоренца «О тождестве световых колебаний и электрических токов» была напечатана в 1867 г. в том же номере «*Annalen der Physik*» [22], что и статья Римана, и помещена рядом с ней. Первоначально статья была опубликована на датском языке и переведена была, по-видимому, по инициативе редактора журнала И. Х. Поггендорфа.

Соотечественник Эрстеда, Лоренц (1829—1891) получил инженерное образование; в биографической статье о нем среди прочих качеств отмечается его замкнутость [23]. С этим, по-видимому, связана и известная независимость его мышления. Действительно, Лоренц был единственным из занимавшихся электродинамикой физиков в континентальной Европе, кто определенно высказывал убеждение в справедливости принципа близкого действия в интерпретации Фарадея.

В начале статьи Лоренц отчетливо выражает свою веру в единство физической картины мира. «Наука нашего столетия открыла так много связей между различными силами, между электричеством и магнетизмом, теплом, молекулярными и химическими силами, что имеется определенная необходимость рассматривать их как проявления одной и той же силы, которая, в зависимости от обстоятельств, проявляется в различной форме...» [22, с. 244]. Он также упоминает о работах А. Ампера и М. Меллони, указывая, что Ампер объяснил взаимопревращения между электричеством и магнетизмом, а Меллони продемонстрировал совпадение законов распространения света с законами распространения тепловых лучей, однако «по отношению друг к другу эти теории совершенно изолированы» [Там же]. По мнению Лоренца, современная ему физика еще далека от того, чтобы общие соображения о единстве силы перевести на язык теории. Проявления этого несовершенства физики он видит в том, что «через полстолетия после открытия Эрстеда оба электричества рассматриваются как электрические *флюиды*, свет как колебания *эфира* и тепло как движения молекул *вещества*» (выделено Лоренцем.— Б. Б.) [22, с. 244].

Лоренц основывает свои расчеты на законе Ома, записывая его в том же виде, что и Кирхгоф в статье 1857 г. (предполагая известным численное значение константы C_w). Лоренц также предполагает, что при определении скалярного и векторного потенциала следует принимать во внимание запаздывание электрического действия [24].

В этой работе Лоренц получает уравнение, определяющее распространение волн тока в проводящей среде, причем скорость распространения равна скорости запаздывания электрического действия. При бесконечно малой проводимости уравнение для волн тока совпадает с ранее полученным Лоренцем волновым уравнением для распространения света в упругом эфире. Следовательно, включает Лоренц, скорость передачи «электрического дальнего действия» равна

скорости света, «колебания же света есть электрические токи» [22, с. 263].

Лоренц также отмечает, что электрическая сила лишь по видимости действует на расстоянии (*nach in die Ferne*), что каждое действие электричества и электрических токов в действительности зависит от электрического состояния ближайшего элемента [22, с. 262]. Ссылаясь в этой связи непосредственно только на работы Ампера и Фарадея, Лоренц пишет о «многих физиках», защищавших эту гипотезу [Там же].

Статья К. Неймана «Принципы электродинамики» [25] впервые была опубликована в 1868 г. в трудах Тюбингенского университета. Нейман (1832—1925) с 1865 по 1868 г. был профессором математики в Тюбингенском университете и с 1868 по 1911 г. — профессором математики в университете г. Лейпцига.

В качестве основных принципов своего исследования Нейман принимает гипотезу о неограниченной справедливости принципа наименьшего действия и гипотезу о том, что «представленное потенциалом» „побуждение к движению“ (*Bewegungsantrieb*) распространяется от одной материальной точки (*Massenpunkte*) к другой не мгновенно» [25, с. 404].

Для двух масс — m и m' ⁵, взаимодействующих только друг с другом, Нейман различает два вида «потенциала» — излучаемый (*emissive*) и принимаемый (*receptive*). Принимаемый в момент времени t потенциал полностью идентичен излучаемому, «посланному» в ранний момент времени t' , причем

$$t' = t - r/C_1, \quad (7)$$

где C_1 — скорость (совпадающая с C_w и не равная скорости света).

Общезвестны критические замечания, сделанные Максвеллом в адрес теории Неймана в «Трактате по электричеству и магнетизму». Указывая на «огромную разницу» между передачей потенциала и распространением света [26, с. 629], он приходит к выводу: «... Чтобы понять теорию Неймана, мы должны составить себе представление о процессе передачи потенциала, весьма отличное от того представления, к которому мы привыкли, рассматривая распространение света. Можно ли будет это представление когда-либо принять в качестве „конструктивного представления“ (*consistent representation*) процесса передачи, который казался необходимым Гауссу, я сказать не могу; но я сам оказался не в состоянии составить себе рациональное представление о неймановской теории» [26, с. 630].

Различие между процессом передачи потенциала и распространением света подчеркивает и сам Нейман, но не столько в 1868, сколько в 1875 г., в работе «Общие рассуждения о законе Вебера» [27]. Излученный светящимся телом свет независим от светящегося тела; напротив, потенциал, испущенный в какое-нибудь мгновение притягивающей точкой, *определеннейшим образом зависит от мгновенного положения притягивающихся точек* (выделено Нейманом. — Б. Б.) [27, с. 563]. Особенно интересно, что Нейман отмечает различие в скоростях распространения потенциала и света. Для потенциала, указывает он [27, с. 564], скорость равна константе Вебера. В этом случае взаимодействие заряженных частиц определяется законом Вебера. Кроме того, скорость света является абсолютной скоростью (скорость же распространения потенциала — относительной). Нейман имеет в виду систему отсчета, связанную с радиусом-вектором, соединяющим взаимодействующие частицы [27, с. 561].

По сути дела, согласно Нейману, следует говорить не о действии одной заряженной частицы на другую, а об их взаимодействии; каждому моменту времени и положению частиц соответствует определенный потенциал взаимодействия. Однако соответствующая потенциалу сила начинает действовать

⁵ Взаимодействие может быть либо гравитационным, либо электромагнитным; в последнем случае m и m' — «электрические массы», иначе говоря, заряды.

спустя некоторое время, необходимое потенциалу для «распространения» (мы использовали кавычки, поскольку потенциал не распространяется в привычном смысле этого слова) на разделяющее частицы расстояние r . Скорость «распространения» потенциала одна и та же в обоих направлениях (от первой частицы ко второй и от второй к первой), потому-то Нейман и определяет ее относительно системы отсчета, связанной с соединяющим частицы радиусом-вектором \vec{r} . Нейман пишет: «Если предполагается, что пространственно разделенные объекты непосредственно действуют друг на друга, то столь же допустимо предположить *непосредственное* (выделено мной.— Б. Б.) взаимодействие между объектами, которые отделены друг от друга во времени; естественно предположить, что такая гипотеза приводит к столь же удачным результатам, как и первая» [25, с. 433]. Чрезвычайно, на наш взгляд, интересно, что вслед за этим Нейман приводит оценку своей гипотезы, принадлежащую Веберу и изложенную им в письме Нейману. Вебер считает, что в принципе можно попытаться представить себе возможный механизм распространения потенциала. Однако, по словам Вебера, в этом случае мы должны опираться на законы «высшей механики». Поясняя свою мысль, Вебер пишет о том, что, к примеру, распространение звуковых волн можно описать, лишь основываясь на законах механики газов, из которых следует, что «в каждой точке среды распространение может быть прервано» [Там же]. Под прерыванием процесса распространения следует, по-видимому, понимать передачу колебаний от одной молекулы среды к другой.

Комментируя замечание Вебера, Нейман указывает, что взаимодействие объектов, находящихся в различных точках пространства и разделенных интервалом времени, следует рассматривать как первичное, не сводимое к более элементарным процессам [25, с. 434].

Заметим в связи с этим, что Веберу принадлежит ряд философских высказываний (опубликованных уже посмертно), одно из которых имеет непосредственное отношение к данной проблеме: «Если материальные сущности (*materielle Wesen*), которые разделены пространственно и во времени, взаимодействуют, то основа этого взаимодействия — в сущности обоих как целого» [29, с. 631].

В цитированных высказываниях Вебера и Неймана просматривается близость некоторым положениям атомистики Г. Т. Фехнера (1801—1887).

Основой гипотез Лоренца и Римана являются дифференциальные уравнения, в принципе допускающие распространение электрического действия вне зависимости от существования «излучателя» и «приемника». В рамках же гипотезы Неймана с необходимостью предполагается наличие обеих участвующих во взаимодействии частиц. Именно последнее обстоятельство, на наш взгляд, и указывает на близость гипотезы Неймана атомистике Фехнера. Основным объектом исследования, согласно теории атомов Фехнера [32], должны быть не отдельные атомы, а система атомов в целом, «управляемая» законом силы. Так, закон силы «управляет» движением пары атомов; соответственно Фехнер избегает привычного представления о действии одного атома на другой. Ему в известной степени удается тем самым обойти дилемму «дальнодействие — близкодействие».

В широком смысле неймановский образ «распространяющегося» с конечной скоростью потенциала сближается с тем направлением в философии, в рамках которого предполагается, что поведение отдельного элемента системы не может быть описано без учета поведения системы в целом. Так, в философии Г. Лотце (1817—1881) свойства отдельных атомов определяются той связью, в которой они находятся с миром как целым [30, с. 448].

В гипотезе Неймана можно также увидеть в некотором смысле предвосхищение современного представления об электромагнитном поле, не предполагающего какой-либо модели, передающей взаимодействия среды. Действительно, в концепции Неймана приоритет отдавался энергетической характеристике — потенциалу. Историк науки из США М. Вайс пишет о Неймане: «... хотя

он вполне мог иметь в виду какую-то материальную основу, или, иначе, эфирное поле, для своего распространяющегося потенциала, он не ссылаясь на него и тем самым продемонстрировал отсутствие необходимости в подобной материальной основе для силового поля» [28, с. 295].

Концепция К. Неймана была подвергнута критике Р. Клаузиусом; этот вопрос обсуждался в статье канадского историка науки Т. Арчибалда. По его мнению, «Клаузиус... посвятил значительные усилия поискам физического обоснования математических понятий, связанных с передачей энергии и с энтропией, и для него подход Неймана был неприемлем» [31, с. 787].

Рассмотренный нами период времени был исключительно важным и для развития теории электромагнитного поля, созданной в работах Дж. Максвелла. В статьях 1855—1865 гг. Максвелл построил электромагнитную теорию света, а также получил основные уравнения теории электромагнитного поля.

Окончательное признание теории Максвелла, связанное с опытами Герца 1887—1889 гг., было удивительно быстрым. В немалой степени этому способствовала подготовленность научного сообщества (в том числе и сторонников электродинамики дальнего действия) к восприятию теории электромагнитного поля. Действительно, за три десятилетия, отделивших опыты Герца от эксперимента Вебера — Кохляуша, в физике усиливался процесс отхода от положений классико-механической картины мира, а в том числе и от ортодоксальной интерпретации принципа дальнего действия. Развитие гипотезы о конечной скорости распространения электрического действия в работах Римана, Лоренца и Неймана было одним из факторов, делавших этот процесс необратимым.

Список литературы

1. *D'Agostino, S.* Weber and Maxwell on the discovery of the velocity of light in nineteenth century electrodynamics // *On Scientific Discovery*. Reidel, 1891. P. 181—293.
2. *Дорфман Я. Г.* Всемирная история физики (с начала XIX до середины XX в.). М., 1979.
3. *Weber W.* Vorwort, bei der Uebergabe der Abhandlung: Elektrodynamische Maasbestimmungen, insbesondere Zurückführung der Stromintensitäts-Messungen auf mechanisches Maass (20.10. 1855) // *Werke*. B. 3. S. 590—596.
4. *Weber W., Kohlerausch R.* Über die Elektrizitätsmenge, welche bei galvanischen Strömen durch den Querschnitt der Kette fließt // *Annalen Physik*. 1856. B. 99. S. 10—25; *Werke*. B. 3. S. 597—608.
5. *Kohlrausch R., Weber W.* Elektrodynamische Maasbestimmungen, insbesondere Zurückführung der Stromintensitäts-Messungen auf mechanisches Maass // *Abhandlungen der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften math.-phys. Klasse*. Leipzig, 1857. B. 3. S. 221—290; *Werke*. B. 3. S. 611—669.
6. Из предистории радио. М., 1948.
7. *Weber W., Kohlrausch R.* Fünf Abhandlungen über Absolute elektrische Strom und Widerstandsmessung. Leipzig, 1904.
8. *Филонович С. Р.* Самая большая скорость. М., 1983.
9. *Горелик Г. Е.* Размерность пространства. М., 1983.
10. *Kirchhof G.* Über die Bewegung der Elektrizität in Leitern // *Annalen Physik*. 1857. B. 102. S. 529—544.
11. *Weber W.* Elektrodynamische Maasbestimmungen, insbesondere über elektrische Schwingungen (1864) // *Werke*. B. 4. S. 97—241.
12. *Poggendorff J. Ch.* Bemerkung zu dem Aufsatz des Herrn Prof. Kirchhoff // *Annalen Physik*. 1857. B. 100. S. 351—352.
13. *Weber W.* Zur Galvanometrie (1862) // *Werke*. B. 4. S. 17—96.
14. *Cohen I. B.* Conservation and the concept of electric charge: an aspect of philosophy in relation to physics in the nineteenth century // *Critical problems in the history of science*. Madison, 1959. P. 357—383.
15. *Riemann B.* Ein Beitrag zur Electrodynamik // *Annalen Physik*. 1867. B. 131. S. 237—243.
16. *Riemann B.* A contribution to Electrodynamics // *Philos. Mag.* 1867. V. 34. P. 368—372.
17. *Gauss C. F.* *Werke*. Göttingen, 1877. B. V. S. 627—629.
18. *Wiederkehr K. H.* Wilhelm Weber. Stuttgart, 1967.
19. *Kaiser W.* Theorien der Elektrodynamik im 19 Jahrhundert. Hildesheim, 1981.
20. *Риман Б.* Сочинения. М., 1948.
21. *Zöllner K. F.* Principien einer elektrodynamische Theorie der Materie. Leipzig, 1876.
22. *Lorentz L. V.* Ueber die Identität der Schwingungen des Lichts mit den elektrischen Strömen // *Annalen Physik*. 1867. B. 131. S. 243—263.
23. *Pihl M.* Ludvig Lorenz // *Dictionary of scientific biography*. N. Y., 1973. V. 8. P. 501—502.

24. Wien W. Elektromagnetische Lichttheorie // Encyklopädie der math. Wiss. Leipzig, 1904—1922. B. 5. Teil 3. S. 95—198.
25. Neumann C. Die Principien der Elektrodynamik. Gratulationsschrift den Tübinger Universität zum fünfzigjährigen Jubiläum der Bonner Universität vom Jahr 1868 // Math. Annalen. 1880. B. 17. S. 400—434.
26. Максвелл Дж. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1954.
27. Neumann C. Allgemeine Betrachtungen über die Webersche Gesetze // Math. Annalen. 1875. B. 8. S. 555—566.
28. Wise M. N. German concepts of force, energy and the electromagnetic ether: 1845—1880 // Conceptions of ether. Cambridge, 1981. P. 269—307.
29. Weber W. Aphorismen // Werke. B. 4. S. 630—632.
30. Геффдинг. История новой философии. Спб., 1900.
31. Archibald T. Carl Neumann versus Rudolf Clausius on the propagation of electrodynamic potentials // Amer. J. Physics. 1986. V. 54. № 9. P. 786—790.
32. Fechner G. T. Ueber die physikalische und philosophische Atomenlehre. Leipzig, 1864.

М. А. КОВНЕР

РАЗВИТИЕ КВАНТОВОЙ ХИМИИ В СССР (1930—1980)

Квантовая химия — важная область современного естествознания, достигшая больших высот за, примерно, шестьдесят лет своего существования. Сегодня уже есть хорошие методы теоретического расчета главных характеристик атомов и молекул, расчета химических процессов. В эпоху ЭВМ эти методы приносят реальную пользу, имея в то же время принципиальное значение.

Однако история квантовой химии в нашей стране печальна. На первых порах были серьезные достижения — В. А. Фок разработал свой классический метод рассмотрения атомов и молекул, именуемый сейчас методом Хартри — Фока, и создал в Ленинграде школу теоретиков. В те же 30-е годы была создана лаборатория Я. К. Сыркина в Физико-химическом институте им. Карпова. Я. К. Сыркин сыграл главную роль в организации работ по квантовой химии в СССР — именно он ознакомил химиков с этой новой для них областью. В Институте им. Карпова работали Ю. Б. Румер и Г. Г. Гельман, сделавшие фундаментальные вклады в квантовую химию. Однако в 1938 г. Гельман был арестован и расстрелян. Румера арестовали в 1940 г., он вышел на свободу лишь после войны. Монографии Я. К. Сыркина и М. Е. Дяткиной «Химическая связь и строение молекул» и Г. Г. Гельмана «Квантовая химия», изданные в нашей стране и за рубежом, сохранили новые идеи и имели существенное значение.

В 1950 г. статьей В. М. Татевского и М. И. Шахпаронова в «Вопросах философии» была начата травля ученых, работающих в области квантовой химии, прежде всего Я. К. Сыркина и М. Е. Дяткиной. В 1951 г. главное тогда направление квантовой химии — теория электронного резонанса — было объявлено идеалистическим и чуть ли не контрреволюционным. Квантовую химию постигла судьба биологии — здесь также восторжествовала своего рода лысенковщина. После «дискуссии» 1951 г. развитие квантовой химии у нас было по существу остановлено и лишь позднее начались новые работы, в целом не вышедшие на мировой уровень. Тем не менее нынешнее состояние этих работ позволяет относиться к ним с оптимизмом. Сильно отставая от Запада в области компьютеризации, мы уделяем ей сегодня большое внимание. Дальнейшее развитие квантовой химии неразрывно связано с этой областью.

Исторический очерк, написанный М. А. Ковнером, полезен — для понимания перспектив квантовохимических исследований в СССР нужно знать их историю.

Член-корреспондент АН СССР М. В. Волькенштейн

Годом возникновения квантовой химии следует считать 1927-й, когда Гейтлер и Лондон решили уравнение Шредингера для молекулы водорода. Однако на пути развития квантовой химии возникали трудности. Ее содержание и

значимость по-разному интерпретировались различными исследователями (См.: [1—4]).

Настоящий очерк посвящен истории квантовой химии в СССР. Следует отметить, что число работ, относящихся непосредственно к истории квантовой химии, невелико [5—8], и мы попытаемся, естественно, не претендуя на полноту охвата всей многогранной деятельности советских ученых, в какой-то мере восполнить этот пробел, причем, описывая зарождение и развитие различных квантовохимических коллективов, мы будем придерживаться хронологического принципа изложения.

В 1931 г. профессор Ивановского политехнического института Я. К. Сыркин создал в Физико-Химическом институте им. Л. Я. Карпова (ФХиК) лабораторию строения вещества и спектроскопии и обосновал необходимость развития квантовой химии в СССР. Деятельность этой лаборатории привлекла интерес широкой научной общественности. Был организован первый в Москве семинар, в котором принимал участие возвратившийся из Германии Ю. Б. Румер, проходивший стажировку у известного физика-теоретика М. Борна. Семинар сплотил группу молодых ученых, заинтересовавшихся под влиянием идей Сыркина и Румера новой отраслью науки — квантовой химией. Румер читал прекрасные лекции по теории электромагнитного поля и волновой механики. В этом семинаре принимал участие В. Гейтлер, три месяца читавший лекции для сотрудников и аспирантов. Он приехал из Англии в 1934 г. по рекомендации Румера. Последнюю лекцию, посвященную проблеме энергии активации, он прочитал на русском языке [9]. Уместно отметить, что Румер внес фундаментальный вклад в квантовую химию, сформулировав правило, носящее его имя: для определения числа независимых валентных структур нужно расположить атомы молекулы по кругу и соединить их непересекающимися прямыми. Число таких прямых равно $n! / [(n/2)!(n/2 + 1)!]$, где n — четное число атомов в молекуле.

В 1934 г. по рекомендации Румера и по приглашению А. Н. Фрумкина и А. Н. Баха в Москву прибыл молодой немецкий ученый-антифашист Г. Г. Гельман, один из авторов знаменитой теоремы Гельмана — Фейнмана, являющейся основой молекулярной динамики¹. Его диссертация [10] и в настоящее время сохраняет актуальность в связи с проблемой озоновой дыры. В 1934 г. Гельман был утвержден в должности заведующего теоретической группой отдела строения вещества ФХиК как иностранный специалист. В 1936 г. он становится гражданином СССР. Под его руководством многие молодые ученые в течение короткого времени выполнили ряд работ по квантовой химии.

Гельман написал первую в мире фундаментальную монографию по квантовой химии, опубликованную в Австрии в 1937 г. и в СССР [11]. В начале 1938 г. Гельман был арестован по ложному обвинению в шпионаже и погиб. В 50-х годах он был реабилитирован.

Исследования по квантовой химии продолжались во ФХиК под руководством Я. К. Сыркина и его сотрудницы М. Е. Дяткиной. В годы Великой Отечественной войны ФХиК был эвакуирован в Ташкент, где Сыркин и Дяткина работали над первой отечественной монографией по строению молекул, ставшей настольной книгой для многих исследователей в области теоретической химии [12].

В начале 30-х годов была создана так называемая теория резонанса, первоначально сформулированная Дж. Слэйтером [13] и Л. Полингом [14; 15]. Наибольшее развитие эта теория получила в книгах [12; 16; 17]. Теория достаточно хорошо известна, и мы напомним лишь, что, по теории, в молекуле,

¹ Теорема определяет силу, действующую на ядро в молекуле. Она была выведена независимо от Гельмана американским физиком Р. Фейнманом и широко используется и ныне.