

дует изучение «стратиграфии» знания — вскрытие пластов научных представлений о феномене (в нашем случае о функции нервных центров), в которых запечатлелось движение мысли. Это движение оживает благодаря усилиям историка, позволяющим узнать, в каких образах являлась «равнодушная природа» людям науки в чреде поколений. Стремясь же выяснить, какими глазами эти люди воспринимали земные и небесные объекты, он неотвратно сталкивается с другой задачей — проследить и запечатлеть, какими глазами они воспринимали друг друга, какие отношения — от эпохи к эпохе — между ними завязывались, ибо эти отношения — такой же неотъемлемый фактор движения науки, как и сила разума и опыта.

IN SEARCH FOR THE HISTORICAL TRUTH

M. G. IAROSHEVSKY

The author of the article shares his experience gained in studying of works of the founder of physiology and scientific psychology I. M. Setchenov. He shows the way to understanding of complication of ideological and scientific collisions, arisen in connection with Setchenov's discoveries. The author gives a description of the circumstances which served as motives for putting forward and checking of hypotheses about Setchenov's influence on development of science in the Western Europe and the USA.

Памяти Д. К. Максвелла

ДЖЕЙМС КЛЕРК МАКСВЕЛЛ

Р. В. ДЖОНС (Великобритания)

В наши дни физики оценили достижения Максвелла еще в большей мере, чем это было в 1931 г., когда отмечалось 100-летие со дня его рождения. Именно с этим я связываю почетное предложение написать для своих коллег в СССР очерк о жизни и трудах Максвелла, полученное мною как земляком Максвелла и одним из его весьма скромных преемников по кафедре в Абердинском университете. Конечно, я вполне отдаю себе отчет в том, что русские читатели смогут получить более подробные сведения в прекрасной биографии, написанной В. Карцевым и опубликованной в 1974 г.¹ Между прочим, Карцев собрал в этой книге много фотографий, которых нет даже в английских источниках, и потому я надеюсь, что читатели извинят меня за то, что я даю к статье немного иллюстраций.

Максвелл родился в Эдинбурге 13 июня 1831 г.² Мать его была англичанка, отец — шотландец. Мать умерла молодой, как впоследствии и он сам; отец, юрист, приложил много усилий, чтобы дать Джеймсу хорошее школьное и домашнее образование. Он послал сына учиться в Эдинбургскую академию (1841—1847), а в 1853 г. способствовал его знакомству с новейшей промышленной технологией в Бирмингеме. Уже в школьные годы Максвелл проявил оригинальность мышления, в особенности геометрического, о чем свидетельствует его работа о декартовых овалах, принятая в 1846 г. для публикации Эдинбургским Королевским обществом. После окончания академии Максвелл поступил в Эдинбургский университет, где изучал математику, химию, философию природы и логику.

Из Эдинбургского университета Максвелл перешел в 1850 г. в Кембриджский, сначала в колледж Питерхаус, а годом позже в Тринити-колледж, где когда-то протекала деятельность Ньютона. В 1854 г. Максвелл получил там степень бакалавра, что свидетельствовало прежде всего о его математических познаниях, поскольку преподаванию математики в Кембридже уделялось больше всего внимания. Одним из экзаменаторов был Дж. Стокс, и в число задач, предлагавшихся на экзаменах, входила его знаменитая теорема, которую он тогда только что открыл. Хотя Максвелл был, видимо, наиболее способным из экзаменовавшихся, он оказался не на первом месте, а только на втором. Первое место занял Э. Дж. Раут, позднее автор известного учебника по динамике.

Получив степень бакалавра, Максвелл вскоре опубликовал ряд статей, которые уже в чем-то предвещали его позднейшие открытия. В статье о цветном зрении, опубликованной в трудах Эдинбургского Королевского общества за 1857 г., впервые предложена аддитивная система цветной фотографии, наподобие той, которая в наши дни применяется в цветном телевидении.

¹ Карцев В. Максвелл. М., 1974.

² Точность этой даты доказана в сообщении: Bolton H. C., Price W. C. Notes and Records of the Royal Society, 1978, v. 33, p. 213—214.

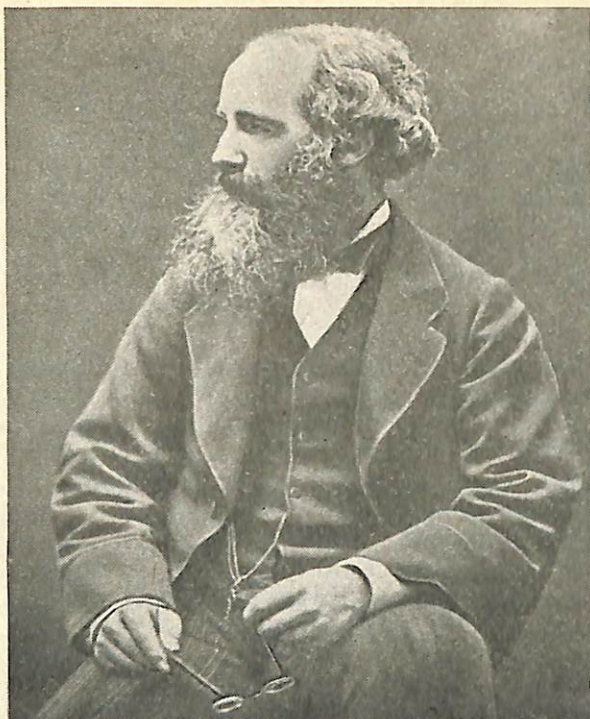


Рис. 1. Джеймс Клерк Максвелл
(1831—1879)

Внимание Максвелла привлекли также фарадеевские силовые линии. Доклады Максвелла, прочитанные им на эту тему в 1855—1856 гг. в Кембриджском философском обществе³, представляют собой ранний образец максвелловского подхода к научным проблемам. «Мы должны найти такой метод исследования, который на каждом шагу основывался бы на ясных физических представлениях, не связывая нас в то же время какой-нибудь теорией, из которой заимствованы эти представления, благодаря чему мы не будем отвлечены от предмета преследованием аналитических тонкостей и не отклонимся от истины из-за излюбленной гипотезы»⁴.

Высоко оценивая возможности физического подхода, основанного на рассуждениях по анало-

гии, Максвелл осознавал также и опасность того, что аналогия может завести слишком далеко: «Изменение в направлении лучей света при переходе их из одной среды в другую тождественно с отклонениями материальной частицы от прямолинейного пути при прохождении ее через тонкий слой, в котором действуют силы. На этой аналогии, которая распространяется только на направление, а не на скорость движения, основано одно объяснение преломления света, которое долго признавалось за правильное и которое еще теперь, когда мы уже не рискуем более применять его вне области его пригодности, полезно при решении различных задач как искусственный математический прием. Вторая аналогия между светом и колебаниями упругой среды идет много дальше, и хотя ее значение и плодотворность не могут быть переоценены, мы все-таки должны помнить, что она основана лишь на формальном сходстве между законами световых явлений и законами упругих колебаний. Если мы лишим ее физического облика и сведем к теории „поперечных колебаний“, то останется лишь система истин, которая хотя и не внесет ничего гипотетического в наблюдаемые факты, но зато, наверное, будет несостоятельной в отношении как наглядности, так и плодотворности методов»⁵.

³ Эти доклады опубликованы в Трудах Кембриджского философского общества за 1856 г., а позднее перепечатаны в книге: *The scientific papers of James Clerk Maxwell*, ed. by Niven W. D. Cambridge, University Press, 1890, v. I, p. 156—229. В приводимых ниже ссылках на это издание оно обозначено сокращенно: SPJCM.

⁴ Максвелл Дж. К. О фарадеевых силовых линиях.— В кн.: *Максвелл Дж. К.* Избр. соч. по теории электромагнитного поля. М., Гостехтеориздат, 1954, с. 12.

⁵ Там же, с. 12—13.

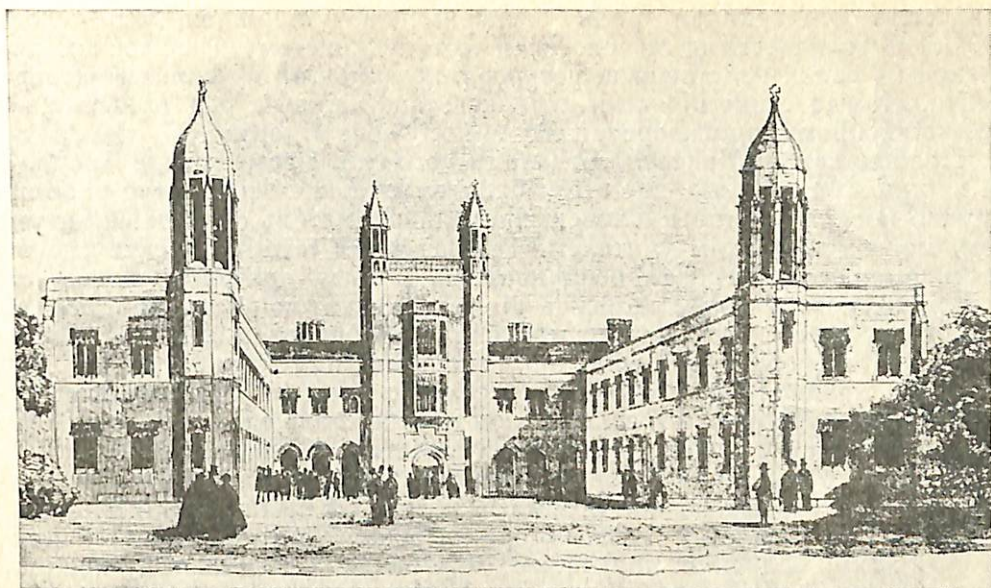


Рис. 2. Маришаль-колледж Абердинского университета; с гравюры 1859 г.

Процитированный нами отрывок свидетельствует о том, что с самого начала своей исследовательской карьеры Максвелл глубоко понимал роль аналогии в науке. К этой теме он обращался неоднократно как серьезно, так и в юмористическом духе, примером чего могут служить его заметки, опубликованные Льюисом Кемпбеллом и Уильямом Гарнеттом в их биографии Максвелла⁶.

Надо особо отметить один пункт в рассуждениях Максвелла по поводу аналогий, связанных со светом. Ко времени Максвелла спор о том, следует ли считать свет движением волн или же частиц, длился уже почти два столетия, и последним событием в этой области был полный (как казалось) триумф волновой теории в экспериментах Физо и Фуко (1850 г.), показавших, что в воде свет распространяется медленнее, чем в воздухе. Однако из высказываний Максвелла видно, что он отнюдь не торопился отождествлять волновую аналогию с реальностью. Наоборот, он предупреждал своих читателей, что в оптике модель, основанная на колебаниях упругой среды, представляет собой лишь аналогию; поэтому, видимо, он не должен был бы удивиться в такой мере, как многие пережившие его современники, если бы узнал, что свет является потоком особых частиц — фотонов и его волновые свойства являются не столь монополярными, как это казалось в 1850 г.

В 1855 г. Максвелл стал действительным членом («феллоу») Тринити-колледжа. В это же время он решил участвовать в конкурсе на замещение должности профессора кафедры физики Маришаль-колледжа в Абердинском университете. Его привлекало, в частности, то, что в Абердине он находился бы ближе к своему отцу, с которым у него было много общего. К несчастью, его отец скончался еще до того, как Максвелл в 1856 г. был избран на эту должность. Однако Максвелл не забрал назад своего заявления. Осенью 1856 г. он возглавил кафедру физики в Маришаль-колледже Абердинского университета и 3 ноября прочел свою вступительную лекцию, в которой призывал студентов мыслить так, как им свойственно, а «не идти пассивно по пути других, хотя бы и под предлогом изучения науки». При этом

⁶ Campbell L., Garnett W. Life of James Clerk Maxwell, 2 ed. London, 1884.

Максвелл подчеркивал роль эксперимента, утверждая, что человеческий интеллект вряд ли способен соткать систему физических воззрений из своих собственных ресурсов, не прибегая к усилиям эксперимента. «Когда такие попытки делались, они каждый раз приводили к неестественному, противоречащему самому себе вздору»⁷.

Преподаванию Максвелл отдавал много сил. Кроме того, в Абердине он продолжал начатые еще в Кембридже вечерние лекции для рабочих. Трудно поверить, чтобы человек, проявлявший столь очевидный энтузиазм, мог быть плохим учителем. Тем не менее педагогические способности Максвелла нередко оспаривались. Можно верить словам его кембриджского ученика Хорейса Лэма: «Когда он писал на грифельной доске, у него всегда было множество неприятностей, и создавалось впечатление (подтверждаемое, как я полагаю, и его трудами), что хотя сущность предмета и его математические основы он понимал в совершенстве, в подробных вычислениях он был не столь силен. Его инстинкт физика спасал его от действительно существенных ошибок»⁸.

Однако тот же Лэм говорит о лекциях Максвелла: «Они представляли для некоторых из нас огромный интерес и были увлекательны не столько из-за своей тематики, которая в общем была обычной, сколько за счет ярких озарений, получаемых благодаря оригинальному подходу лектора, его постоянному обращению к исходным принципам, даже его уловкам, когда он попадал в затруднительное положение; его юмористическим импровизациям, ироническим замечаниям по разному поводу, частым литературным и даже поэтическим ассоциациям»⁹.

Первой серьезной научной работой Максвелла в Абердине было детальное теоретическое исследование колец Сатурна. Он пришел к выводу, ставшему с тех пор общепризнанным, что кольца не могут быть твердыми и сплошными, потому что в этом случае они бы разрушились и упали на планету. Кольца не могли бы быть и жидкими, так что единственно возможной структурой, в качестве которой их можно представить, является рой небольших частиц. Только эта структура, как показал Максвелл, и может быть устойчивой, причем только в том случае, если частицы внутренней стороны кольца будут вращаться быстрее, чем частицы на внешней стороне. Впоследствии этот вывод Максвелла был подтвержден наблюдением.

Высказывалось мнение, что именно эта работа привела Максвелла к его кинетической теории газов. В 1859 г. он опубликовал свой знаменитый «закон распределения», регулирующий распределение скоростей среди молекул в некотором объеме газа¹⁰. С поразительной интуицией Максвелл сделал правильное предварительное допущение, которое позволило ему дедуцировать основное соотношение с помощью всего лишь одной страницы вычислений. Больцман подошел к той же проблеме строже и в конце концов решил ее с помощью методов более солидных, но и более громоздких. Сходная ситуация повторилась в той же области исследования пятью годами позже, когда Максвелл и Больцман занялись проблемой вязкости газов на основе гипотезы об их молекулярном строении. Больцман вдохновлялся своим желанием достичь полной строгости, а Максвелл видел, что путем небольшого изменения исходной модели он сразу может получить ценный ответ. Поскольку он всегда был хозяином своих моделей, он сделал и необходимое изменение, молекула в его изображении стала уже не непрони-

⁷ Цитируется по рукописи вступительной лекции для студентов кафедры натуральной философии Маришаль-колледжа, Абердин, 3 ноября 1856 г. Архив Абердинского университета.

⁸ Lamb H. Clerk Maxwell as lecturer.— In: James Clerk Maxwell. A commemoration volume. 1831—1931. Cambridge, 1931, p. 145.

⁹ Ibid., p. 144.

¹⁰ SPJCM, I, p. 377—409.

цаемой твердой сферой, но точкой, от которой исходит сила отталкивания, обратно пропорциональная пятой степени расстояния. С помощью такого приема задача была сразу же решена, что вызвало восхищение Больцмана¹¹.

Основные экспериментальные работы Максвелла, выполненные в Абердине, касались цветового зрения, но ему пришлось покинуть Абердин еще до того, как эти работы привели к практическим результатам в виде первой цветной фотографии, которую он продемонстрировал в 1861 г. в Лондонском Королевском институте¹². Дело в том, что имевшиеся в Абердине два небольших университета (основанные один в 1494 г., а другой в 1593 г.) в 1860 г. слились в один и профессоров по каждому предмету стало вдвое больше, чем необходимо. Максвелл попал в число тех, кого решено было уволить. Так Абердин потерял самого выдающегося из профессоров, какие были в его истории.

Максвеллу не пришлось долго искать новую кафедру; на этот раз он попал в Кингс-колледж в Лондоне, где оставался с 1860 по 1865 гг. Вступительная лекция, прочитанная им там, в основном была построена так же, как абердинская за четыре года перед этим; но в лекцию 1860 г. включено место, отразившее его возросший интерес к истории науки и требованиям, которые она предъявляет. Максвелл утверждал, что мы не можем выделить ступеней, посредством которых человеческий ум поднялся до современного состояния знаний, до тех пор, пока исследователь, исходя из определенного опыта, сам не определит, каково это состояние. Если мы сами сталкивались с тем, как наш ум сопротивляется новым идеям, и с тем, как это сопротивление преодолевается, продолжал Максвелл, мы сможем лучше оценить и усилия тех, кто впервые выдвинул эти идеи и передал их нам в вечное владение.

Пять лет, проведенных в Кингс-колледже, были самыми продуктивными годами в жизни Максвелла. Именно в этот период он смог развить свои более ранние идеи о силовых линиях и создать на их основе теорию электромагнитного поля. Еще в статье 1855 г., базирующейся на работе Кельвина «Механическое представление электромагнитных и гальванических сил с помощью перемещения частиц внутри эластичного твердого тела в напряженном состоянии» (1847), Максвелл переосмыслил геометрические идеи Фарадея о силовых линиях и нашел для них аналитическое выражение. Помимо работы Кельвина стимулом для Максвелла послужило изучение опубликованных в 1846 г. «Мыслей о вибрациях лучей» Фарадея. В своей работе 1864 г. по электромагнитной теории Максвелл признал, что идеи Фарадея в основном тождественны тем, которые он развивал в форме электромагнитной теории света. Фарадей считал, что, поскольку свет и электричество, видимо, движутся со сравнимыми скоростями, весьма вероятно, что свет — это некоторый вид распространяющихся волн, связанный с постулированными им силовыми линиями. Впоследствии Фарадей изложил эти мысли в одном из своих писем¹³. Направление исследований, начало которому положил Фарадей, было подхвачено Максвеллом. Несомненно, Максвелл понимал, что он работает в этом направлении; в 1857 г. он писал: «Я верю, что в человеческом мозгу есть некий отдел, работающий независимо от сознания и таким образом, что там все данные как бы преобразуются и отстаиваются, выходя на свет уже совершенно отчетливыми»¹⁴.

Что касается собственных идей Максвелла, они начали приобретать абсолютную отчетливость начиная с работы 1861 г. «О физических

¹¹ См. Планк Макс. Джеймс Клерк Максвелл и его значение для теоретической физики в Германии.— В кн.: Планк Макс. Единство физической картины мира. М., «Наука», 1966, с. 170—183.

¹² SPJCM, I, p. 445—450.

¹³ Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. М., 1959, т. 3, с. 625.

¹⁴ Campbell L., Garnett W. Life of James Clerk Maxwell. London, 1882, p. 268.

силовых линиях», где он попытался построить теоретическую модель процессов, лежащих в основе электромагнитной индукции¹⁵. Из этой модели (а также из концепции среды в состоянии упругого напряжения) он сделал в 1862 г. вывод, что даже в диэлектриках должен проявиться феномен, напоминающий электрический ток¹⁶. Вероятно, это первое упоминание о знаменитом впоследствии токе смещения¹⁷.

Следует подчеркнуть, что Максвелл пришел к концепции тока смещения в диэлектрике путем чисто физических рассуждений, а не путем анализа недостающего элемента в амперовских уравнениях электрического контура, как иногда сообщают в учебниках¹⁸. Максвелл рассуждает: «В нижеприводимом исследовании я рассматриваю соотношение между смещением и производящей его силой». Он пытается из численных результатов этого исследования вывести «соотношение между статическими и динамическими мерами электричества и путем сравнения электромагнитных опытов Кольрауша и Вебера с найденным Физо значением скорости света» показать, что «упругость среды, передающей магнетизм, равна упругости светового эфира, если только эти две сосуществующие, одинаково распространенные и равно упругие среды не представляют в действительности одну и ту же среду»¹⁹. «Скорость поперечных волновых колебаний в нашей гипотетической среде,— продолжает Максвелл,— вычисленная на основании электромагнитных опытов Кольрауша и Вебера, столь точно совпадает со скоростью света, найденной в оптических опытах Физо, что мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет представляет собой поперечные колебания той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений»²⁰.

Таким образом, в максвелловских работах 1861—1862 гг. мы впервые находим как концепцию тока смещения, так и четко сформулированное утверждение о том, что свет представляет собой электромагнитное явление.

Напрашивается предположение, что на эту мысль Максвелл был наведен выполненными В. Вебером и М. Кольраушем измерениями соотношений между статической и динамической единицами электричества²¹; эти измерения дали для упругости магнитной среды такие же значения, как и для упругости предполагаемой светонесущей среды. Однако вряд ли данные Вебера непосредственно повлияли на Максвелла, в частности, потому, что Вебер в сущности не получил столь известного теперь числового результата 3×10^{10} . Позднее Максвелл объяснял, что он «вывел свои уравнения в деревне (in the country) до того, как хотя бы заподозрил, что скорость распространения света близка к скорости распространения магнитных эффектов»²².

Глубокие по своим идеям статьи 1861 и 1862 гг. не удовлетворили тем не менее самого Максвелла, поскольку они опирались на образную, но спорную механическую модель электромагнитной индукции. Поэтому он вернулся к этой проблеме через два года, опубликовав в трудах Лондонского Королевского общества за 1864 г. статью «Динамическая теория электромагнитного поля». Из введения к статье²³ становится очевидно, что Максвелл экстраполировал на вакуум понятие тока

¹⁵ SPJCM, I, p. 451—488.

¹⁶ Там же, p. 489—513.

¹⁷ Максвелл Дж. К. Избр. соч. по теории электромагнитного поля, с. 163.

¹⁸ См., например, Page L., Adams N. I. Principles of electricity, 4 ed. Princeton, 1969.

¹⁹ Максвелл Дж. К., Указ. соч., с. 164.

²⁰ Там же, с. 175.

²¹ Poggendorfs Annalen, 1856, Bd 89, S. 10—25.

²² Maxwell J. C. A letter to Kelvin, 10 December 1861.— Proceedings of Cambridge Philosophical Society, 1936, v. 32, p. 695.

²³ SPJCM, I, p. 526—597.

смещения и свойства, установленные им для диэлектриков²⁴. И поскольку тепло может передаваться через вакуум посредством колебаний, то в течение времени этой передачи «энергия должна была существовать наполовину в форме движения среды и наполовину в форме упругого напряжения». Исходя из этих соображений, В. Томсон²⁵ доказывал, что эта среда должна обладать плотностью, сравнимой с плотностью обычной материи. Поэтому мы можем «принять существование проникающей среды, обладающей малой, но реальной плотностью, обладающей способностью быть приводимой в движение и передавать движение от одной части к другой с большой, но не бесконечной скоростью... Среда, имеющая такого рода структуру, может быть способна к другим видам движения и смещения, чем те, которые обуславливают явления света и тепла; некоторые из них могут быть таковы, что они воспринимаются нашими чувствами»²⁶.

В сущности здесь Максвелл как раз и высказывает предположение о существовании электромагнитных волн, имеющих особые характеристики по сравнению со световыми и инфракрасными волнами, предвидение, которое можно считать первым указанием на возможность существования радиоволн.

Параллельно со своей работой об электромагнитном поле Максвелл продолжал исследования в области кинетической теории, предсказав, что для весьма широкого диапазона давлений вязкость газа должна быть независима от давления. Позже этот поразительный результат был экспериментально подтвержден самим же Максвеллом. Установленная им закономерность привела в такое восхищение Рэлея, что он по этому поводу писал в 1890 г.: «Во всей физике нет более прекрасного и содержательного открытия, чем установление того факта, что вязкость газа одна и та же при любой его плотности»²⁷.

В 1865 г., когда Максвеллу было 34 года, он решил, возможно, по просьбе жены, переселиться в свой сельский дом в юго-западной Шотландии. Однако его известность теперь была столь велика, что многие коллеги-физики стали обращаться к нему с просьбами вернуться в ученый мир. Им удалось убедить его принять в 1870 г. должность президента секции математики и физики Британской ассоциации. Вступительная президентская речь Максвелла по этому поводу представляет собой прекрасный пример изложения принципов естественно-научного исследования²⁸.

В тот период Максвелл как раз переводил электромагнитную теорию из ее физикоиллюстративной, «полнокровной формы»²⁹ в символическое выражение, известное с тех пор как «уравнения Максвелла» и развернутое в полном виде в «Трактате об электричестве и магнетизме». Однако до окончания этого трактата в жизни Максвелла произошла важная для судеб физики в Кембриджском университете перемена. Дело в том, что Максвелла убедили стать первым профессором физики в новоучрежденной Кавендишской физической лаборатории и возглавить эту лабораторию. Как известно, Максвелл направил свою кафедру и лабораторию на верный путь: его преемниками стали последовательно Релей, Дж. Дж. Томсон и Резерфорд.

Максвелл возглавил Кавендишскую лабораторию в 1871 г., и здесь также одной из первых его обязанностей было прочесть инаугурацион-

²⁴ Максвелл Дж. К. Избр. соч. по теории электромагнитного поля, с. 253.

²⁵ Thomson W. On the possible density of the luminiferous medium and on the mechanical value of a cubic mile of sunlight.—Trans. of the Royal Society of Edinburgh, v. 19, No. 1, p. 57.

²⁶ Максвелл Дж. К. Указ. соч., с. 154—155.

²⁷ «Nature», 1890, v. 28, p. 26—27.

²⁸ SPJCM, II, p. 215—229.

²⁹ Максвелл Дж. К. Статьи и речи. М., 1968.

величин, она подготавливает материалы для подчинения новых областей, которые остались бы неизвестными, если бы наука довольствовалась грубыми методами своих ранних пионеров»³¹.

Одной из причин столь высокой оценки Максвеллом значения практической лабораторной работы было то, что в Кембридже имелаась сильная оппозиция основанию Кавендишской лаборатории. Этот факт можно проиллюстрировать рассказом Артура Шустера, сообщающего, что Максвеллу доставляло не меньше удовольствия работать руками и глазами, чем головой; однажды ему удалось трудная задача — вырезать и отшлифовать пластинку из кристалла с двойным преломлением с целью показать коническую рефракцию. Встретив после этого Тодхантера, одного из самых известных в Кембридже репетиторов по математике, Максвелл, обрадованный своим достижением, спросил у него: «Не хотите ли увидеть коническую рефракцию?» — и получил удивительный ответ: «Нет. Я преподавал ее всю жизнь и не хочу, чтобы все мои идеи по этому поводу были поставлены под сомнение, если я ее увижу»³².

Максвелл не уклонялся и от долга составления учебников; основные его руководства были написаны еще в годы шотландского уединения, но опубликовал он их во время своей работы в Кавендишской лаборатории. В 1877 г. им были опубликованы два элементарных учебника, выдающихся по своей основательности и четкости: «Теория теплоты», где сформулирована идея известного «максвелловского демона», а также «Материя и движение»; в 1873 г. Оксфордским университетским издательством был опубликован знаменитый «Трактат об электричестве и магнетизме». В предисловии к «Трактату» дан весьма характерный совет: «Для изучающего любой предмет чтение оригинальных трудов представляет собой большое преимущество, так как наука всегда наиболее полно усваивается при своем появлении на свет»³³. В этой фразе уже заключается оправдание исторического подхода в преподавании любого курса. В «Трактате» Максвелл дает окончательную формулировку электромагнитной теории, освобожденную от механических моделей и аналогий, с помощью которых он ее первоначально построил и которые он теперь отбросил, как строитель снимает леса после окончания постройки. Из новых результатов, опубликованных в «Трактате», самый важный — это максвелловский подсчет величины давления, оказываемого на поверхность электромагнитным излучением. Этот подсчет произведен в § 792, заключительные слова которого гласят: «Поэтому в среде, в которой распространяются волны, существует давление в направлении, нормальном к волнам, численно равное энергии в единице объема»³⁴.

Со времен Ньютона экспериментаторы безуспешно пытались определить давление, оказываемое лучом света. Максвеллу, наконец, удалось вычислить порядок величины удельного давления, которая оказалась такой низкой (около $4,5 \times 10^{-5}$ дин), что обнаружить это давление было бы невозможно без значительных усовершенствований в экспериментальной технике.

Когда Максвелл производил эти вычисления, ему оставалось жить только шесть лет. К моменту его смерти (5 ноября 1879 г.) давление электромагнитного излучения еще не было обнаружено экспериментально и многие рассматривали электромагнитную концепцию света как спекулятивную. Кельвин в предисловии к своим лекциям, опубликованным в 1904 г., но прочитанным в Балтиморе в 1884 г., писал, что

³¹ Там же, с. 23—24.

³² Schuster A. The progress of physics. Cambridge, 1911, p. 25—26.

³³ Максвелл Дж. К. Избр. соч. по теории электромагнитного поля, с. 352.

³⁴ Там же, с. 563.

«электромагнитная теория света пока еще мало что дала». Даже в существовании тока смещения некоторые сомневались (ибо как бы мог вакуум хотя бы на мгновение стать проводником тока?), и в 1879 г. Берлинская академия предложила премию тому, кто экспериментально обнаружит ток смещения. Гельмгольц советовал Генриху Герцу попытаться получить эту премию, но Герц не мог себе представить, как взяться за эту проблему. Впрочем, в 1886 г. в Карлсруэ Герц выполнил серию блестящих экспериментов, которые закрепили его собственную репутацию, но вместе с тем подтвердили и престиж теории Максвелла, до тех пор далеко не бесспорной.

После опытов Герца для доказательства давления электромагнитного излучения оставалось только подтвердить это давление прямым наблюдением, что и выпало на долю русского физика Петра Лебедева, который, сделав необходимые усовершенствования в методике, между 1900 и 1910 гг. исчерпывающим образом исследовал давление светового излучения в различных экспериментальных условиях. Он показал, что величина этого давления (в пределах ошибки эксперимента) именно та, которую предсказал Максвелл.

Максвелл наверняка определил бы работу Лебедева как «героическую». В большинстве разделов физики, например в теории гравитации, электростатике, теории магнетизма и термодинамике, решающий прорыв достигался, когда соответствующая отрасль знания ставилась в связь с механикой, ибо это сразу позволяло использовать весь ньютоновский аппарат. Обычно такое происходило на ранних этапах развития физических дисциплин. В оптике дело обстояло иначе, поскольку механическое действие света оказалось очень слабым и тем не менее (как выяснилось) очень важным: так, оно играет ведущую роль в детерминации структуры звезд; Эйнштейн использовал представление о световом давлении в своем «мысленном эксперименте», подтвердившем знаменитый результат $E=mc^2$. Заслуга же предсказания и наблюдения светового давления всецело принадлежит Максвеллу и Лебедеву.

В «Материи и движении» Максвелл указывал, что «все наше знание как о времени, так и о пространстве по существу относительно»³⁵ и что «нет ничего, что отличало бы одну часть пространства от другой, кроме их отношения к положению материальных тел»³⁶. В то же время его занимал вопрос о возможности измерить скорость прохождения Земли через светоносный эфир, и в 1864 г. он предпринял эксперимент по определению этой скорости с помощью измерения кажущихся изменений показателей преломления призм. Однако постановка этого опыта была в теоретическом отношении не вполне корректна, потому что не было учтено высказанное Френелем предположение о возможности захвата эфира материалом призм. За несколько месяцев до смерти Максвелл вернулся к той же проблеме и предложил эксперимент³⁷ по сравнению кажущихся скоростей света в двух противоположных направлениях. Он опасался, однако, что эксперимент окажется невыполнимым из-за слишком малого значения наблюдаемой разности между скоростями. И все же его соображения побудили А. Майкельсона выполнить в дальнейшем (совместно с Э. Морли) их самый известный и многозначительный в истории науки эксперимент с отрицательным результатом³⁸.

Помимо своих основных работ Максвелл выполнил немало и других исследований, многие из которых сами по себе были бы достаточны для того, чтобы создать ему прочную репутацию. В них он, как и в своих главных работах, обычно склонен к «геометрическому мышлению», которое характерно для шотландского (да и английского) подхода к

³⁵ Максвелл Дж. К. Материя и движение. М., 1924, с. 11.

³⁶ Там же, с. 10—11.

³⁷ «Nature», 1880, v. 21, p. 314—317.

³⁸ Livingston D. M. The master of light. N. Y., 1973.

проблемам физики. Р. Олсон связывает эту черту с влиянием шотландской школы «философии здравого смысла»³⁹. Действительно, двое из профессоров, у которых Максвелл учился в Эдинбурге, Дж. Д. Форбс (философия природы) и У. Гамильтон (психология), принадлежали к этой школе, причем прочный интерес Максвелла к философской проблематике в значительной мере был обязан влиянию Гамильтона.

Для геометрического подхода Максвелла типичной является его изящная теория оптических систем, а также изобретенные им в 1854 г. линзы в виде «рыбьего глаза»⁴⁰. Кроме того, Максвелл занимался топологическими вопросами теории географических карт, теориями статических конструкций и структур в технике, а также вопросами геометрического изображения этих конструкций и структур с помощью изоморфных фигур. Позднее эти работы нашли применение в теории изоморфных решеток в кристаллографии. Другим примером современного применения максвелловского трехмерного мышления служит теория кинематического проектирования, сформулированная им в 1876 г.⁴¹ и оказавшаяся весьма ценной при конструировании научных приборов.

Максвелл не избегал опытов, требовавших доведения точности измерений до наивысшего возможного предела. Он проверил, например, закон обратных квадратов в электростатике и призывал своих учеников также ставить такие «героические» эксперименты⁴². Когда в его собственных опытах по определению величины ома ему понадобилась катушка, которая вращалась бы со строго постоянной скоростью, он применил изобретенный его ассистентом Флемингом Дженкином регулятор скорости, действующий по принципу регулятора Уатта. Эта работа вылилась в статью, посланную им в 1868 г. в Лондонское Королевское общество. В ней Максвелл сформулировал теорию регуляторов, легшую в основу современной теории управления⁴³.

Как мы уже говорили, Максвелл придавал истории науки большее значение, чем большинство физиков его времени. В свои последние годы он посвятил немало времени подготовке к публикации рукописей Генри Кавендиша. Кавендиш в XVIII в. сделал ряд важных открытий в электростатике и определил гравитационную постоянную, но он не опубликовал своих результатов, и они были «переоткрыты» другими.

Максвелл всегда понимал, что история науки представляет собой сугубо человеческое дело, требующее понимания не только логики научной мысли, но и логики человеческого характера. В своей вступительной лекции в Кембридже он сказал: «Люди, имена которых встречаются в истории науки, не являются просто составными частями массы, о которых надо судить в совокупности со всеми другими»⁴⁴, напротив, они являются «такими же людьми, как мы». Изучение их психологии, по мнению Максвелла, дает прекрасный материал для понимания человеческой природы, в особенности же ее рациональных компонентов.

Мало кто из нас осмелится признать Максвелла просто «таким же человеком, как мы». Поэтому для оценки Максвелла дадим слово Планку и Эйнштейну. Планк на юбилейных торжествах 1931 г. сказал, что призванием Максвелла было «построение и завершение классической теории, и, выполняя эту миссию, он достиг наивысшего из того, что

³⁹ Olson R. Scottish philosophy and British physics. Princeton, 1975.

⁴⁰ SPJCM, I, p. 284—285.

⁴¹ Maxwell J. C. General considerations respecting scientific apparatus.— In: South Kensington Museum Handbook. London, 1876.

⁴² Everitt C. W. F. James Clerk Maxwell. N. Y., 1975, p. 177.

⁴³ Максвелл Дж. К. О регуляторах.— В сб.: Теория автоматического регулирования. М., 1949.

⁴⁴ Максвелл Дж. К. Статьи и речи, с. 32.

можно себе представить. Имя его блистает на вратах классической физики»⁴⁵.

Эйнштейн в автобиографических набросках подчеркивал: «Самым увлекательным предметом во времена моего учения была теория Максвелла. Переход от сил дальнего действия к полям как основным величинам делал эту теорию революционной. То, что оптика нашла себе место в теории электромагнетизма..., было для меня откровением»⁴⁶. Свою знаменитую статью 1905 г. Эйнштейн начинает с указания на то, как его поразила асимметрия объяснений феномена индукции в электрическом контуре с магнитом в зависимости от того, рассматривался ли магнит как движущееся тело, а контур как фиксированное, или наоборот. В тех же автобиографических заметках Эйнштейн прямо говорит: «Специальная теория относительности обязана своим возникновением уравнениям Максвелла для электромагнитного поля»⁴⁷.

На юбилейном заседании 1931 г. Эйнштейн еще раз обратился к поразившим его в студенческие годы воззрениям Максвелла: «Можно сказать, что до Максвелла физическая реальность, поскольку она выражает явления в природе, мыслилась как материальные точки, изменения которых состоят только в движениях, регулируемых дифференциальными уравнениями в частных производных. После Максвелла физическая реальность мыслится выраженной необъяснимыми с механической точки зрения континуальными полями... Это изменение представления о реальности является наиболее глубоким и плодотворным из всех, которые знала физика после Ньютона»⁴⁸.

Эйнштейн говорил это в 1931 г. С тех пор до 1979 г. прошел отрезок времени, в точности соответствующий краткой жизни Максвелла. За этот отрезок времени мы узнали о существовании нейтрино и многих других элементарных частиц (а ведь в 1931 г. еще не был открыт нейтрон), о ядерном делении и синтезе, о пульсарах и квазарах, о возможном существовании кварков и черных дыр. Был изобретен и усовершенствован радар, созданы атомные бомбы, освоены новые источники энергии, появились транзисторы, ЭВМ, лазеры и космические станции. Однако ничто из этих нововведений (пожалуй, кроме квантовой механики и работ самого же Эйнштейна) не опровергает суждения о воззрениях Максвелла как о «наиболее глубоких и плодотворных после Ньютона». Если бы Эйнштейн произносил свою речь сегодня, он вполне мог бы повторить ту же оценку.

Перевод с англ. Б. А. Старостина

JAMES CLERK MAXWELL

R. V. JONES

[GREAT BRITAIN]

You can find Maxwell's short biography and today's analysis of his views and concepts in the article, written by one of the successors of J. C. Maxwell at natural philosophy chair of Aberdeen University. A number of earlier unknown documents is cited in the article.

⁴⁵ Планк М. Джеймс Клерк Максвелл и его значение для теоретической физики в Германии.— В кн.: *Максвелл Дж. К. Статьи и речи*, с. 242.

⁴⁶ Эйнштейн А. Творческая автобиография.— В кн.: *Эйнштейн и современная физика*. М., 1956, с. 42.

⁴⁷ Там же, с. 56.

⁴⁸ Эйнштейн А. Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности.— В кн.: *Эйнштейн и современная физика*, с. 245—246.

МАКСВЕЛЛ И ЧУВСТВЕННЫЙ ОБРАЗ ФИЗИЧЕСКОГО МИРА

В. П. КАРЦЕВ

После открытия Г. Герцем предсказанных Максвеллом электромагнитных волн и подтверждения П. Н. Лебедевым реального существования максвелловского светового давления авторитет великого английского физика резко возрос. С конца XIX в., когда Максвелла уже не было в живых, многие исследователи, сталкиваясь со сложными методологическими ситуациями, стали ссылаться не только на его открытия, но и на его представления о процессе познания.

В истории науки можно найти множество примеров того, как исследователи стремились соотнести свои труды с авторитетными в научном сообществе фигурами, теориями, методологическими концепциями, иной раз даже без достаточных к этому оснований. Так, за много лет до Максвелла Томас Юнг, публикуя работу, развивающую взгляды Гюйгенса и в корне противоречащую «корпускулярной» теории света, не решился открыто выступить против Ньютона, но, напротив, поставил свою волновую теорию под эгиду ньютоновского авторитета¹. Он сделал это вполне сознательно: «Те, кто примыкает ко всякой теории, получившей одобрение Ньютона, — на что они имеют полнейшее право, — писал Юнг, — будут, вероятно, расположены уделить внимание нижеследующим соображениям...»². Известно, что далеко не всегда ссылки на чей-либо научный авторитет означают его подлинное признание. В ряде случаев они используются в целях упрочения социального и научного статуса автора. Мы сталкиваемся здесь со своеобразным социально-психологическим феноменом — «демонстрацией сопричастности». Круг истинных последователей выдающегося ученого обычно значительно уже круга лиц, провозглашающих себя таковыми.

В этой связи привлекает внимание то обстоятельство, что имя Максвелла широко использовалось в известной научной дискуссии между «энергетистами» и «механицистами» (конец XIX — начало XX в.), причем обе стороны, сталкиваясь с вопросом о природе физической реальности, активно апеллировали к авторитету Максвелла. Одна из кульминаций этой длительной дискуссии имела место на научной конференции в Любеке 16—20 сентября 1895 г. Со стороны «механицистов» выступали Людвик Больцман и Феликс Клейн, со стороны «энергетистов» — Вильгельм Оствальд, за которым, как заметил Зоммерфельд, «стояла философия не присутствовавшего на конференции Эрнста Маха»³.

«Энергетисты» настаивали на том, что атомистика себя исчерпала, причем Оствальд приводил в пример свою недавно вышедшую книгу по химии, где он ни разу не употребил слов «атом» и «молекула». Больцман же критиковал Оствальда за ограниченное, «феноменологическое» толкование им понятия «энтропия». Включившийся в дискуссию Мах вскоре выступил с книгой по термодинамике (1896), где подчеркивал, что «механицизм» не только не может помочь в познании законов при-

¹ Ньютон. 1727—1927. Сборник. Л., Изд-во АН СССР, 1927, с. 5.

² Там же, с. 7.

³ Blackmore J. T. Ernst Mach. Univ. of Calif. Press. Berkeley, 1972, p. 205.