

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 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. Джемс 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.

роды, но, более того, является большой опасностью, поскольку сковывает полет мысли ученого. Последователи Маха с еще большим упорством, чем он сам, настаивали на том, что следуют методологическим традициям Максвелла. И Больцман в свою очередь писал о близости своих представлений о физической реальности к воззрениям Максвелла⁴. Сложившаяся в столь важный для будущего физики момент острая ситуация побуждает нас обратиться к ее истокам, взяв для рассмотрения лишь один из элементов дискуссии — взгляды ее участников на природу физической реальности.

* * *

Первой научной статьей, с которой познакомился молодой Больцман, была статья Максвелла «Illustrations of the Dynamical Theory of Gases», опубликованная в «Philosophical Mag» в 1860 г. Есть основания предполагать, что с этого момента Больцман находился под сильнейшим влиянием Максвелла. Об этом свидетельствует не только сопоставление тематики научных работ Максвелла и Больцмана (кинетическая теория газов, электродинамика, термодинамика). Особый интерес представляет сравнение творческих методов обоих ученых, а также систем их воззрений на природу физической реальности. Больцман, подчеркивая то влияние, которое на него в детстве оказала поэзия Фридриха Шиллера, часто повторял, что, не будь Шиллера, он был бы другим человеком. С еще большим основанием он мог бы сказать это о Максвелле.

Известно, что в юные годы сам Максвелл находился под влиянием философских представлений Уильяма Гамильтона, резко разграничивавшего два мира: мир объективный, физический, независимый от индивида и мир божественный, неподсудный чувственным восприятиям и логике разума. Оставаясь до конца жизни верующим человеком, Максвелл тем не менее с юности жадно прислушивался к «сигналам» внешнего реального мира. Преподаватели Максвелла в Абердинском университете развили у юноши стремление проверять все физические положения путем собственных экспериментов. Характерно, что они вызвали при этом к чувственному миру своих студентов. Так, например, студенты не только изучали принцип действия ртутного альтиметра, но и должны были, «поливая холм собственным потом», как писал Максвелл, взобраться на него и уже там, на вершине, измерить его высоту. При проработке темы о кривых качения студенты, взобравшись на вершину Бен-Невис, по заданию профессора Форбса мысленно скатывали с горы стволы деревьев и затем рассчитывали, через какое время эти стволы достигнут подножия.

Постоянное соотнесение чувственного опыта, физической теории и математического ее описания особенно показательно для «эдинбургских» статей Максвелла. Он получал из выведенных им формул линии одинаковых напряжений в неотожженном стекле, подвергнутом различного вида деформациям, и тут же видел эти линии, освещая нагруженный образец поляризованным светом⁵. Несомненно, что картины напряжений внутри твердого тела, легко различаемые, меняющиеся в зависимости от нагрузки в соответствии с формулами, во многом подготовили Максвелла к восприятию фарадеевских силовых линий, наполняющих, по его представлениям, пустоту. О реальности их существования можно было судить хотя бы по той картине, которую железные опилки образуют вокруг магнита. Ранняя убежденность

⁴ См. Максвелл Д. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. Л., ГИТТЛ, 1948. См. в этой книге примечания Л. Больцмана.

⁵ См. Карцев В. П. Эдинбургский период творчества Максвелла. — «Вопросы истории естествознания и техники», 1976, № 58. Автор пользуется случаем поблагодарить проф. Д. Д. Иевлева за участие в обсуждении и подготовке цитируемой статьи.

Максвелла в объективном существовании физического мира, раскрывающегося перед ним с помощью мира чувств, с развитием его исследований распространилась и на область физических явлений, постигаемую посредством математических символов и формул. Недоступность этой области для прямого чувственного познания не означала ее антитетичность чувственному опыту. Ее «мысленный образ» выступал для Максвелла как образ самой реальности, как бы укоренённой в непосредственно переживаемых чувственных восприятиях. Он принадлежал к ученым, которые, по его словам, «узнают, с какой скоростью проносится в пространстве планета, и испытывают от этого чувство восхитительного возбуждения. Они вычисляют силы, с которыми притягиваются небесные тела, и чувствуют, как напрягаются от усилий их собственные мышцы»⁶.

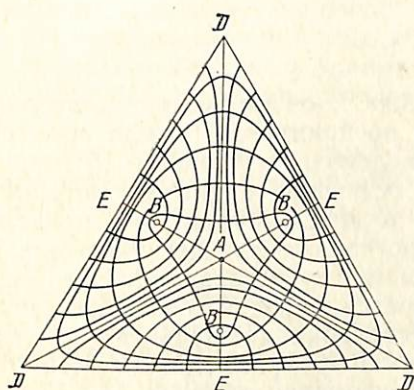


Рис. 1. Картина напряжений в треугольнике из необожженного стекла, полученная Максвеллом в поляризованном свете (1847 г.)

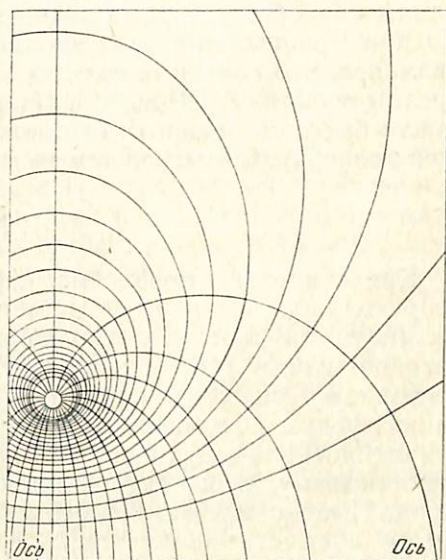


Рис. 2. Картина электростатического поля из «Трактата по электричеству и магнетизму» (1873 г.)

Максвелл говорил, что каждый физик, перед тем как написать слово «масса», должен подвесить на веревке гирию и толкнуть ее рукой⁷.

Процесс физического познания, по Максвеллу, заключается в «постоянном приспособлении нашей манеры мыслить к фактам внешнего мира... Для того, чтобы человеческий ум мог воспринимать различные (физические.— В. К.) величины, нужно, чтобы они предварительно были даны ему природой»⁸.

* * *

С близкими представлениями мы встречаемся и у Больцмана. По мере углубления его исследований непосредственное чувственное восприятие трансформируется у него, по его терминологии, во «внутрен-

⁶ Максвелл Д. К. Статьи и речи. М., «Наука», 1968, с. 16.

⁷ См. Кузнецов Б. Г. Электродинамика Максвелла, ее истоки, развитие и историческое значение.— «Тр. Ин-та истории естествознания и техники», 1955, с. 135—180.

⁸ The Scientific Papers of J. Clerk Maxwell. Ed. Niven N. D. Cambridge, 1890, v. II, p. 216—218.

ний образ», т. е. в некоторый теоретически осмысленный и вместе с тем чувственно окрашенный, непосредственно эмоционально воспринимаемый образ физического мира. «Меня очень радовало бы,— писал Больцман,— если бы кому-нибудь удалось для сравнения с дедуктивным методом изобрести такой индуктивный, который позволил бы «внутреннему образу» выступать с такой же ясностью и последовательностью»⁹. Больцман пишет и о том, что мы никогда ничего не узнаем, например, о структуре атома, пока «на основании фактов, наблюдаемых нашими органами чувств, нам не удастся сформировать какую-нибудь гипотезу»¹⁰.

Имели эти взгляды Больцмана для него принципиальное, методологическое значение? Для ответа на этот вопрос можно вспомнить о том, что доказательство «Н-теоремы» Больцмана может быть получено чисто формальным способом, без обращения к атомам как реальности. Таким способом теорема выведена, в частности, Н. Н. Пироговым¹¹. Но для Больцмана атомы вполне реальные. Это «тела таких ничтожных размеров, что только сцепляясь миллионами, они могут возбудить наши органы чувств»¹². Даже обращаясь к физическим проблемам, которые могли бы быть решены без обращения к схеме, допускающей чувственную проверку, Больцман тем не менее следует ей.

* * *

Как свидетельствуют биографы Маха¹³, он постоянно подчеркивал непреходящую ценность чувственного восприятия. Прежде чем стать физиком, он как известно, был поглощен изучением физиологии органов чувств (1870-е годы). Его обостренное с детства внимание к сенсорному опыту в сочетании с увлечением буддизмом привели к философским построениям, которые растворяли физическую реальность в калейдоскопе ощущений как первоэлементов мироздания. Это вело к агностицизму, к выводу об иллюзорности принятой в физике картины мира. Именно эта методологическая установка крылась за его вопросами: Что есть измерение? Эксперимент? Наблюдение? Что такое сила, масса, пространство и время? Законы природы?

Мах, замечая, что природа не обучалась в *Ecole Polytechnique*, утверждал, что физики совершают большую ошибку, забрасывая ощущения, получаемые с помощью органов чувств, в «три жестянки, на которых навешены этикетки: „масса“, „время“ и „пространство“»¹⁴.

Предлагая в качестве базовых компонент физической картины мира непосредственно поставить ощущения человека, Мах перечеркивал уже сложившееся знание о материальном мире. Философия Маха, построенная на признании абсолютного примата ощущений, позднее получила название «феноменализма». Как мы видим, феноменалисты, подменяя физическое психическим, останавливаются там, где Максвелл и его последователи видят широкое пространство для оперирования «внутренними образами», позволяющими раскрыть природу независимой от них реальности.

⁹ Больцман Л. Статьи и речи. М., «Наука», 1972, с. 6.

¹⁰ Там же, с. 8.

¹¹ См. Спасский Б. И. Об исследованиях Н. Н. Пирогова по статистическому обоснованию второго начала термодинамики.— В сб.: История и методология естественных наук. М., Изд-во МГУ, 1970, вып. 1.

¹² Больцман Л. Указ. соч., с. 8.

¹³ Кроме цитированной выше книги Блэкмора см. также Cohen Robert S., Ernst Mach. *Physics, Perception and the Philosophy of Science*.— In.: *Ernst Mach, Physicist and Philosopher*. Ed. by R. Cohen and R. Seeger. D. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holland.

¹⁴ Hiebert Erwin N. The Genesis of Mach's Early Views on Atomism. Opus cit., p. 79—106.

Но «о древе судим лишь по плодам его». Различия в методологии научного познания должно неизбежно сказаться и на его результатах. Рассмотрим это на примере.

Приступая к написанию статьи «Illustrations...», Максвелл, исходя из многочисленных экспериментальных фактов, был убежден в дискретном строении тел, в беспорядочном движении частиц газа. Эти частицы и были «атомами» для Максвелла, т. е. «телами, которые нельзя расщепить пополам», идеально упругими шариками, обладающими массой и скоростью. Вводя для этих частиц статистическое распределение по скоростям, Максвелл делает беспрецедентный по смелости шаг. Представление о строго детерминированных связях было заменено им представлением о вероятностном характере этих связей. Этот шаг был бы невозможен без признания за математической теорией качеств «внутреннего образа», в котором имплицитно представлен чувственный опыт.

Одним из следствий введения вероятностного подхода в кинетическую теорию газов и вообще в трактовку и описание физической реальности стал вывод Максвелла о независимости коэффициента трения в газе от его плотности. Этот вывод противоречил прежним представлениям Максвелла, опытным данным и, более того, обыденному чувственному опыту. Возникал конфликт между непосредственной «чувственной достоверностью» знания и «теоретически достоверным» знанием, решенный Максвеллом в пользу знания, выступавшего в теоретической форме, но уходящего корнями в мир объективизированного чувственного опыта¹⁵.

Позднее Больцманом было доказано, что данные экспериментов опровергают непосредственный чувственный опыт, явившийся по существу «обманом чувств», и подтверждают теоретические выводы Максвелла.

Кинетическая теория газов в статистической интерпретации Максвелла стала для Больцмана не только отправной точкой дальнейшего специального исследования, но и важной вехой формирования его научного мировоззрения. Чувственно наполненный «внутренний образ» явился теми «строительными лесами», без которых не могло бы быть воздвигнуто здание новой теории, по мнению М. Планка, возвысившей второе начало термодинамики до степени реального принципа. Решающий шаг здесь состоял в полном отказе от «феноменологической» энтропии в пользу принятия реально существующих в физическом мире вероятностных законов.

Способен ли был Мах признать эту новую сущность, несводимую не только к чувственным восприятиям, но и к механике, и к электродинамике? Если к вышесказанному добавить то, что сама наука, по Маху, должна рассматриваться «как задача на минимум, состоящая в том, чтобы возможно полнее изобразить факты с наименьшей затратой мышления»¹⁶, то очевидно, что введение новой сущности — вероятности — было бы глубоко чуждым методологии Маха, что, по нашему мнению, сделало бы для него невозможным получение столь важного физического вывода.

* * *

Фридрих Адлер, Иозеф Петцольд и Филипп Франк, защищая феноменализм Маха, снова вызывали тень Максвелла в их споре с М. Планком, отвергавшим как сам феноменализм, так и «принцип экономии»,

¹⁵ Здесь уместно вспомнить о том, что Максвелл, проведя много экспериментов с дальномерами, убедился в крайней субъективности чувственного восприятия.

¹⁶ Мах Эрнст. Историко-критический очерк развития механики. СПб., 1908, с. 8—9. См. также Мах Эрнст. Механика. СПб., 1909, с. 409.

и утверждавшим, что если бы принципы Маха, действительно, были положены в основу теории знания, то «были бы забыты уроки многих ведущих деятелей духа (таких, как Коперник, Кеплер и Ньютон), был бы прерван полет их воображения» и соответственно прогресс науки.

«Что эти страхи беспочвенны,—отвечал Франк,—можно легко убедиться, вспомнив взгляды одного из величайших физиков-теоретиков девятнадцатого столетия Джеймса Клерка Максвелла на природу физических теорий. Здесь достаточно только вспомнить его введение к статье о фарадеевских линиях силы (1855), чтобы убедиться в том, что он полностью стоит на феноменологической точке зрения»¹⁷.

Для того чтобы выяснить, что же в действительности говорил Максвелл, обратимся непосредственно к упомянутой Франком работе.

«Мы должны найти такой метод исследования,—пишет Максвелл,—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»¹⁸. Из приведенной цитаты, на которую опирался Франк, необоснованность причисления Максвелла к разряду феноменалистов очевидна. Несомненно, Максвелл был убежден в реальном существовании среды, находящейся в напряженном состоянии,—сходство полученных им «поляризационных картин» и фарадеевских силовых линий говорит само за себя. Более того, Максвелл предупреждал, что «не следует считать силовые линии математическими абстракциями. Это — напряжения среды, подобные напряжению собственных наших мускулов»¹⁹.

Бесспорна чувственная наполненность этих представлений Максвелла. Но это уже — не непосредственное чувственное восприятие, а «внутренний образ», легко воспринимаемая аналогия. Недаром сразу вслед за цитированной выше фразой Максвелл пишет: «Для составления физических представлений без принятия специальной физической теории следует освоиться с существованием физических аналогий».

Аналогия Максвелла — это его строительные леса. Никогда не считая электричество ни жидкостью, ни теплом, он широко использует электрогидравлические и электротепловые аналогии, заимствуя из курсов механики и теплоты не только математический аппарат, но и эмоционально окрашенные «внутренние образы». Известно, что он пришел к своей идее о токе смещения, не имеющей четкого физического образа, при помощи вполне доступных умственному взору механических представлений, включавших даже «шестеренки», «золотники» и т. п.

За каждым математическим преобразованием у Максвелла выступают «внутренние образы», тесно связанные с реальностью. Именно поиски физического смысла входящей в систему дифференциальных уравнений электромагнитного поля константы, связанной с отношением между электростатической и электромагнитной единицами электричества, привели его к прозрению: константа «с» была, по его мнению, скоростью движения «электромагнитной волны», как это и было впоследствии показано Герцем.

Однако концепция электромагнитного поля, предложенная Максвеллом, несводима к механическим представлениям. Электромагнитное поле — новая физическая сущность. Уже решая «полевые» задачи, Максвелл приходит к выводу о том, что можно экспериментально обнаружить проявления электромагнитного поля, и предсказывает существование электромагнитных волн и светового давления. Круг, таким образом, замыкался. Абстрактные понятия электромагнитного

¹⁷ Frank Ph. Between Physics and Philosophy (Cambr. Mass.), 1941, p. 31.

¹⁸ Максвелл Д. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. Пер. с англ. М., ГИТТЛ, 1954, с. 11—12.

¹⁹ Максвелл Д. К. Статьи и речи, с. 18.

поля, полученные в результате скачка мысли и порывающие, казалось бы, с миром первоначальных ощущений, в конечном счете с помощью чувственных восприятий, внутренних образов вновь начинают обнаруживаться экспериментально и как бы снова приобретают «чувственную плоть» (механическое давление света). Используя аналогии, сходство математического описания различных классов явлений, Максвелл «математическим путем» обнаруживает великое единство природы.

Математизация физики Максвеллом, как известно, стала новым поводом для ссылок на него феноменалистов. В. И. Ленин, анализируя ситуацию в физике, сложившуюся в начале XX в., писал: «Для махистов то обстоятельство, что эти физики (Максвелл и Герц и др.) ограничивают свою теорию системой уравнений, есть опровержение материализма: уравнения — и все тут, никакой материи; никакой объективной реальности, одни символы. Больцман опровергает этот взгляд, понимая, что он опровергает феноменологическую физику»²⁰. В. И. Ленин возражал и тем философам, которые пытались причислить Максвелла к механистически мыслящим естествоиспытателям²¹.

История физики конца XIX — начала XX в. — периода, когда разрабатывались важнейшие современные физические теории (концепция электромагнитного поля, квантовая теория, теория относительности), убедительно свидетельствует о плодотворности методологических традиций Максвелла. Взлеты мысли создателей современной физики показывают, что именно чувственная окрашенность их сознания подсказывала им истинные формы, краски и структуры неисчерпаемой природы.

MAXWELL AND SENSUAL IMAGE OF THE PHYSICAL WORLD

V. P. KARTSEV

The article shows that the education given to J. C. Maxwell, peculiarities of his life contributed to forming his very efficient power of abstract thought, in which basic sensual perceptions played an important role. The author analyses the differences between the sensual experience of Maxwell and that of E. Mach.

²⁰ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 316.

²¹ См. там же, с. 279—281.