

**Р.М.НУГАЕВ**

**МАКСВЕЛЛОВСКАЯ НАУЧНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ:  
СОГЛАСОВАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОГРАММ  
ФАРАДЕЯ, АМПЕРА – ВЕБЕРА И ФРЕНЕЛЯ - ЮНГА .**

Казань, 2013

**Автор:** доктор философских наук, проф. Ринат Магдиевич Нугаев

**Рецензент:** доктор философских наук, проф., зав. отделом философии естествознания Института Философии РАН Елена Аркадьевна Мамчур

*Методологическая модель смены теорий, апробированная на коперниканской и эйнштейновской революциях, применяется к революции максвелловской. Показано, что и генезис максвелловской электродинамики может рассматриваться как закономерный результат согласования «старых» исследовательских программ, относившихся к домаксвелловской физике: электродинамики Ампера-Вебера, волновой теории света Юнга-Френеля и программы Фарадея. «Нейтральным языком», сконструированным Максвеллом для объективного сравнения выводов теорий из встретившихся программ и установления связей между ними, послужила механика сплошных сред с ее набором разнообразных аналоговых моделей - от трубок с несжимаемой жидкостью до молекулярных вихрей. Итогом взаимодействия встретившихся программ, ставшим возможным после создания этого «языка», явилось создание целой иерархии гибридных объектов - от т.н. «тока смещения» до обычных гибридных теоретических схем. Последовавшее, вслед за конструированием тока смещения, взаимопроникновение домаксвелловских исследовательских программ положило начало последовательному объединению теоретических схем оптики, электричества и магнетизма. Программа Максвелла превзошла программу Ампера-Вебера потому, что ассимилировала ряд положений ее твердого ядра, сочетав их с рядом идей Фарадея и оптики Юнга и Френеля, что имеет определенное значение для дальнейшей разработки методологии научно-исследовательских программ.*

*Утверждается, что ключевым звеном рассматриваемой таким образом максвелловской стратегии синтеза теорий оптики, электричества и магнетизма послужили идеи кантовской эпистемологии в интерпретации как Уильяма Уэвелла, так и таких представителей шотландского Просвещения как Томас Рид и Уильям Гамильтон. Это и позволило Максвеллу создать свою оригинальную методологию объединения, разработать и запустить собственную метапрограмму синтеза не только оптики и электромагнетизма (это неплохо сделали до него Ампер и Вебер), но континентальной и британской исследовательских традиций рассмотрения электромагнитных явлений. Гибкий характер кантовской философии позволил выдвинуть в качестве объединяющего начала идею, носившую, в отличие от программы Ампера-Вебера, не «деревянный» онтологический, а гибкий, кантовский, антинатурфилософский, подчеркнуто эпистемологический характер. Для Максвелла последним «первокирпичиком» физической реальности был не эфир, из которого надо было тщательно конструировать как поля, так и заряды, и не непосредственное «действие на расстоянии». И это действие, и «несжимаемая жидкость», и «вихри в эфире» для него были лишь модельными представлениями, в лучшем случае способными лишь «навести» (inductio) на правильные математические соотношения.*

*Генезис максвелловской электродинамики был гармонично встроена ее создателем в общий процесс нововременной деонтологизации. Творческое использование максвелловской методологии позволило Герману Гельмгольцу и его ученику – Генриху Герцу – прийти к такой версии теории Максвелла, которая послужила эвристическим ориентиром для открытия радиоволн.*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.</b> Зачем нужна еще одна рациональная реконструкция генезиса и становления максвелловской электродинамики ? .....	4
<b>ГЛАВА ПЕРВАЯ.</b> Особенности максвелловской методологии конструирования синтетической глобальной теории.....	39
<b>ГЛАВА ВТОРАЯ.</b> Начальный этап реализации синтетической программы Максвелла : статья «О фарадеевских силовых линиях» (1856).....	74
<b>ГЛАВА ТРЕТЬЯ.</b> Промежуточный этап реализации синтетической программы Максвелла : статья «О физических силовых линиях» (1861-1862).....	86
<b>ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.</b> Завершающие этапы реализации синтетической программы Максвелла.....	113
<b>ГЛАВА ПЯТАЯ.</b> Экспериментальное подтверждение максвелловской электродинамики : Гельмгольц и Герц.....	128
<b>ЭПИЛОГ.</b> Максвелл и Эйнштейн.....	144
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.</b> Рациональная реконструкция генезиса максвелловской электродинамики как проблема философии науки.....	149
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	165

## **ВВЕДЕНИЕ. ЗАЧЕМ НУЖНА ЕЩЕ ОДНА РАЦИОНАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕНЕЗИСА И СТАНОВЛЕНИЯ МАКСВЕЛЛОВСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ?**

*Всегда полезно иметь две точки зрения на один и тот же предмет.*

Джеймс Клерк Максвелл

*Поиск сущностей я считаю занятием суетным и бесполезным.*

Галилео Галилей

Принято считать, что объединившая оптику, электричество и магнетизм максвелловская электродинамика явилась этапом разворачивания **фарадеевской** научно-исследовательской программы, основанной на концепции близкодействия (см., например, Chalmers, [1976], 2007). Последняя, обеспечив и предсказание, и опытное подтверждение существования радиоволн, победила, наконец, успешно конкурировавшую с ней - на первых порах - исследовательскую программу Ампера-Вебера, основанную на альтернативной близкодействию концепции дальнего действия.

Тем не менее, более пристальный взгляд на историю и методологию физики второй половины XIX в., ставший возможным прежде всего благодаря исследованиям Дэниела Сигела (1991), Маргарет Моррисон (2000) и Оливье Дарриголя (2001), позволяет поставить эту точку зрения под сомнение как слишком большое **упрощение** - и предложить ее определенную модификацию - на основе учета следующих аргументов.

(А) Во-первых, **сам Максвелл неоднократно** – с самой первой «электрической» работы и до конца своих дней - подчеркивал, что **ключевые идеи электродинамики Ампера-Вебера не столько альтернативны, сколько дополнительные по отношению к концепции полевого взаимодействия**, поскольку и та, и другая **одинаково необходимы**

для дальнейшего развития электродинамики. И в «Трактате об Электричестве и Магнетизме», и в других работах Максвелл отмечал, что полевая теория электромагнитного действия через посредника математически идентична теориям действия на расстоянии, разрабатывавшимися Вебером и Нейманом. Еще в начале своих исследований в области электродинамики, в мае 1855г., аспирант кембриджского университета, прилежный студент профессора математики Габриэля Стокса и ректора Тринити-колледжа философа науки кантианца Уильяма Уэвелла, постоянный корреспондент Уильяма Томсона с гордостью сообщает отцу:

«Я продолжаю работать над электричеством, стремясь проложить *свой* путь сквозь работы солидных (heavy) немецких авторов. *Привести в порядок* все их понятия потребует много времени, но я надеюсь выработать *свой* взгляд на этот предмет и придти в конце концов к чему-то *интеллигибельному* (intelligible) в виде теории» (цит. по работе Campbell & Garnett, 1882, p.105).

Использование юным Максвеллом картезианской терминологии обусловлено тем, что именно Декарт требовал артикуляции феноменов на интеллигибельные и сугубо чувственно-воспринимаемые вещи; в отличие от первых, последние представляют собой мир хаоса, преходящих ощущений и влечений.

И уже в последовавшей вскоре самой первой «электрической» статье «*О фарадеевых силовых линиях*» (1856), заложившей основы собственной методологии построения теории электрических и магнитных явлений, ее автор заявляет, что в данной работе «мы продвигаемся вперед на основе **другого принципа**». Какого? – Мы «ищем объяснения явлений **не только** в токах, но также и в окружающей их среде» (Maxwell, 1856, p.193).

Но при этом перед исследователем неизбежно встает следующий вопрос: зачем же нужна была *еще одна* точка зрения на явления электричества и магнетизма? Разве мало было разнообразных теоретических воззрений в электродинамике первой половины XIX в.? Разве недостаточна

была, например, «настоящая физическая теория», выдвинутая «Ньютоном теории электричества» - Андре-Мари Ампером (с работы которого в 1826г. и началась теоретическая электродинамика) – и основанная им вместе с Вебером и Нейманом на принципах действия на расстоянии, тех принципах, «которые мы *прекрасно понимаем*» (в кавычках даны оценки самого Максвелла)? Ведь домаксвелловская теоретическая электродинамика Ампера-Вебера, действительно обеспечившая объединение электростатики и электродинамики с теорией магнетизма, прекрасно согласовывалась с опытными данными, была свободна от внутренних противоречий и обещала плодотворный союз с оптикой. Никакой авральной необходимости выработки иного подхода к электродинамике в этот период «не ощущалось» .

Например, в 1846г. немецкий последователь Ампера Вильгельм Вебер (1804-1890) предложил простую и изящную интегральную теорию, объединявшую все известные тогда классы электромагнитных явлений. Согласно этой теории, сила взаимодействия между двумя зарядами  $e$  и  $e'$ , находящимися на расстоянии  $r$  друг от друга,

$$F = F_1 + F_2 + F_3 = \frac{ee'}{r^2} \left( 1 - \frac{v^2}{c^2 w} + \frac{2ra}{c^2 w} \right),$$

где  $C_w = \sqrt{2}c$  ;  $v$  – относительная скорость зарядов,  $a$  – ускорение;

$F_1$  – электростатические силы,

$F_2$  – электричество и магнетизм;

$F_3$  – электромагнитная индукция.

К этому следует добавить, что уже в 1847г. Герман Гельмгольц показал, что явление электромагнитной индукции с необходимостью следует из закона Ампера, если учитывать закон сохранения энергии, т.е. это основополагающее явление впервые получило свое теоретическое объяснение именно в рамках программы Ампера-Вебера.

Судя по всему, впервые Максвелл сослался на теорию Вебера в письме Уильяму Томсону от 15 мая 1855г. По совету последнего, он проработал

веберовский трактат “*Elektrodynamische Maasbestimmungen*” и охарактеризовал прочитанное следующим образом:

«Я специально изучал его [т.е. веберовский] способ соединения электростатики с электродинамикой, индукцией и т.д., и должен признаться, что мне он, хоть и не с первого раза, понравился» (цит. по : D’Agostino, 1984, p.150).

Как заметил впоследствии один из современных историков науки, «Максвелл был сильно впечатлен – и даже несколько напуган – предлагаемым таким образом элегантным объединением электромагнитных явлений» (Siegel, 1991, p.10). Более того, как впоследствии отмечал сам Максвелл, именно «согласно теории Вебера, периодические электрические возмущения должны распространяться со скоростью равной скорости света» (Maxwell [1868], 1890, p.137).

– Все, что на весомые аргументы в пользу исследовательской программы Ампера-Вебера мог сначала возразить Максвелл :

« всегда хорошо иметь два разных подхода к одному и тому же предмету... Кроме того, я не думаю, что мы имеем право утверждать, что действительно понимаем действие электричества, и я также полагаю, что главная заслуга современной теории, имеющей лишь преходящий характер, состоит в том, что она только направляет действия экспериментаторов, не препятствуя появлению истинной теории до тех пор, когда последняя будет создана» (Maxwell, 1856, p. 208).

Но уже в другом месте той же работы Максвелл приводит более глубокие аргументы в пользу необходимости создания новой теории электромагнетизма. Он отмечает, что электродинамика Ампера-Вебера – слишком математизированная теория, игнорирующая связи между явлениями, теория, огрубляющая, упрощающая **отношения между статическим и динамическим электричеством:**

«...теория проводимости гальванизма и теория взаимного притяжения проводников были сведены к математическим формулам, но не были поставлены в *отношения к другим частям* электрической науки» (Maxwell, 1856, p.155).

Далее, уже завершая создание своей теории на основе лагранжева формализма, во введении к статье *«Динамическая теория электромагнитного поля»* (1864), описав теорию действия на расстоянии, Максвелл специально указывает на то, что

«эта теория, в том виде, в каком она была развита Вебером и Нейманом (1858), чрезвычайно остроумна и удивительно исчерпывающа в ее применении к явлениям статического электричества, электромагнитных притяжений, индукции токов и электромагнитных явлений... Однако механические трудности, связанные с допущением существования частиц, действующих на расстоянии с силами, зависящими от их скоростей, таковы, что они не дают мне возможности рассматривать эту теорию как окончательную, хотя возможно она и сейчас может быть полезной в отношении установления координации между явлениями» (Максвелл, 1864, С. 252).

Много позже, уже после создания своей системы уравнений, в *«Обращении к математическому и физическому отделениям британской ассоциации содействия науки»* (Ливерпуль, 1870) Максвелл еще раз (после 1856г.) сравнивает соотношение концепций близкодействия и дальнего действия с взаимоотношениями между корпускулярной и волновой теориями света. Более того,

«согласно теории электричества, которая с большим успехом развивается в Германии, две электрические частицы действуют друг на друга непосредственно на расстоянии, но с силой, которая, согласно Веберу, зависит от их относительной скорости, и которая согласно теории, контуры которой были обозначены Гауссом, но развиты Риманом, Лоренцом и Нейманом, действует не мгновенно, но с определенным запаздыванием, зависящим от расстояния между частицами. Мощность, с которой эта теория, в руках этих выдающихся людей, объясняет каждый вид , должна быть тщательно изучена для того, чтобы дать ее должную оценку.

Я же предпочитаю другую теорию электричества, которая отрицает действие на расстоянии и связывает электрическое действие со знакомыми инженерам натяжениями и давлениями во всепроникающем веществе, служащем для распространения света.

Обе эти теории объясняют не только те явления, которые послужили основой для их выдвижения, но и те, что непосредственно к ним не относились или даже не были известны во время их создания; и обе пришли к



одним и тем же численным результатам, дающим абсолютную скорость света в терминах электрических величин. То, что столь фундаментально отличающиеся друг от друга теории содержат столь большую область совпадающих друг с другом истин, - это факт, философское значение которого мы не сможем в полной мере оценить до тех пор, пока не выработаем такую научную точку зрения, которая позволит узреть истинное соотношение между этими столь различающимися гипотезами» (Maxwell, 1870, p.228).

И, наконец, в своем *opus magnum* - «Трактате об электричестве и магнетизме» (1873), Максвелл отмечает, что

«Фарадей видел силовые линии, пронизывающие все пространство, там, где математики видели центры сил, притягивающих на расстоянии; Фарадей видел среду там, где они не видели ничего кроме расстояний; Фарадей предполагал источник и причину явлений в реальных действиях, протекающих в среде, они же были удовлетворены тем, что нашли их в силе действия на расстоянии, приписанной электрическим флюидам.

Когда я переводил то, что я считал идеями Фарадея, в математическую форму, я нашел, что в большинстве случаев результаты обоих методов совпадали, так что ими объяснялись одни и те же явления и выводились одни и те же законы действия, но что методы Фарадея походили на те, при которых мы начинаем с целого и приходим к частному путем анализа, в то время как обычные математические методы были основаны на принципе движения от частных и построения целого путем синтеза» (Максвелл, [1873], С.349).

В итоге, описывая процесс создания своей системы уравнений, Максвелл резюмировал:

«я отдавал себе отчет в том, что в то время полагали, что существует определенная разница между фарадеевским способом понимания явлений и способом понимания математиков, так что ни те, ни другой не были удовлетворены языками друг друга. Я был также убежден в том, что *эти расхождения не были результатом того, что одна из партий ошибалась*» (Maxwell, 1873, p.599).

**(В) То же обстоятельство - дополнительность полевых понятий и понятий, относящихся к теориям действия на расстоянии в максвелловской электродинамике - отмечали и такие современники Максвелла, как Анри Пуанкаре, Людвиг Больцман и Генрих Герц. Последний, в частности, писал:**

«Но невозможно отрицать, что другие высказывания Максвелла кажутся на первый взгляд противоречащими этой точке зрения [полевой концепции]...Высказывание, согласно которому электричество движется подобно несжимаемой жидкости, - это любимое высказывание Максвелла. Но эти положения не согласуются с концепциями четвертой [полевой] позиции; они заставляют предположить, что Максвелл рассматривал вещи с третьей [гибридной] точки зрения... В итоге, к сожалению, слово 'электричество' в творчестве Максвелла используется двусмысленным образом. Во-первых, он использует его (как и мы) для обозначения величины, которая может быть или положительной, или отрицательной, и которая образует исходный пункт сил, действующих на расстоянии (или того, что за них принимается). Во-вторых, оно обозначает ту гипотетическую жидкость, от которой никакие силы, действующие на расстоянии (и даже не кажущиеся таковыми), распространяться не могут...

М.Poincare, в своем трактате "Electricite et Optique" (vol.i, Les Theories de Maxwell) выражает схожее мнение. Герр L.Boltzmann, в своих Vorlesungen uber Maxwell's Theorie, судя по всему ставит своей задачей, так же как и я, скорее согласованное развитие максвелловской системы, чем точное воспроизведение его мыслей» (Hertz 1893,p.26).

**(С) В процессе реализации исследовательской программы Германа Гельмгольца, пытавшейся объединить как полевые представления, так и основные понятия теорий действия на расстоянии, его ученик Генрих Герц переполучил уравнения Максвелла, основываясь на представлениях о непосредственном действии на расстоянии.**

В 1884 г. Герц опубликовал в "Wiedemann's Annalen", 23, pp. 84-103, свою статью *«О соотношениях между фундаментальными уравнениями Максвелла и фундаментальными уравнениями противоположной электромагнетики»*.

В этой статье Герц получил уравнения Максвелла альтернативным по отношению к Максвеллу способом, который избегал каких-либо механических моделей и какого-либо упоминания о «токе смещения» (подробнее см.: D'Agostino, 1975). Как отмечал сам автор,

«Теперь система сил, заданная уравнениями (12) и (13), в точности совпадает с данной Максвеллом. Максвелл нашел ее за счет рассмотрения эфира в качестве диэлектрика, в котором изменяющаяся поляризация производит тот же эффект, что и электрический ток. Мы же получили ее при

помощи других предположений, которые в общем случае принимаются даже оппонентами «фарадей-максвелловской точки зрения» (Hertz [1884], 1896, p.288).

И в заключении к этой статье Герц разъясняет свою методологическую позицию следующим образом:

«В предыдущих частях я намеревался продемонстрировать истинность максвелловских уравнений исходя из посылок, которые в общем случае принимаются в *альтернативной* системе электромагнетики, и за счет использования положений, которые ей знакомы. Следовательно я использовал понятия последней системы; но, кроме этой связи, данный вывод ни в коем случае не может считаться твердым доказательством того, что система Максвелла является единственно возможной. Не представляется возможным вывести подобное доказательство из наших предпосылок. Точное может быть выведено из неточного как наиболее попадающее в цель с заданной точки зрения, но никогда – с необходимостью. Тем не менее, я думаю, что из предшествующего мы можем безошибочно заключить, что если выбор состоит только между обычной системой электромагнетизма и максвелловской, предпочтение должно быть несомненно отдано в пользу последней; и по следующим причинам:

1. Система электромагнитного действия замкнутых токов, основанная на прямом действии-на-расстоянии, в ее настоящем виде является несомненно *неполной*. Или она должна ввести различные виды электрической силы, что она никогда не делала, или же она должна признать существование действий, которые она до сих пор не принимала во внимание. Максвелловская же система в таком же виде не содержит в себе доказательства своей неполноты.

2. Когда мы пытаемся дополнить обычную систему электромагнетизма, мы всегда приходим к законам, которые *чрезвычайно сложны* и с которыми чрезвычайно сложно работать. И или же мы отказываемся признавать накопленные результаты параграфа 2 и приходим к бесплодному заявлению о некомпетентности; или же, что с точки зрения стандартной системы кажется более разумным, мы принимаем их как значимые и приходим в итоге к силам, которые фактически те же, что требуются системой Максвелла. Но тогда последнее предлагает *самую простую* экспозицию полученных результатов.

3...И этого достаточно для демонстрации *превосходства системы Максвелла*... (Hertz [1884], 1896, p.289).

**(D) Герцевские опыты 1887-1888 гг. по обнаружению и изучению оптических свойств радиоволн не могут рассматриваться как «решающие эксперименты» по выбору между программами Ампера-Вебера и Фарадея-Максвелла по следующим причинам.**

(D.1) Ни в одной из максвелловских работ не содержится утверждение о существовании как радиоволн, так и других (несветовых) видов электромагнитного излучения. Более того, сам Максвелл, судя по всему, полагал, что генерирование радиоволн невозможно, и *этот вывод поддерживали его британские ученики* (Chalmers,2001; Hunt, 2005). Неслучайно основное экспериментальное подтверждение максвелловской электродинамики было получено не ими и не сотрудниками созданной самим Максвеллом, долгое время им руководившейся и прекрасно оборудованной кавендишской лаборатории, а учеником Германа Гельмгольца немецким физиком Генрихом Герцем (1888), который первоначально сторонником теории Максвелла себя не считал.

Насколько же непопулярна была в то время максвелловская электродинамика – особенно в Германии – видно хотя бы из того, что Герц в своих экспериментальных работах, поставленных для проверки уравнений Максвелла, ссылок на последнего по возможности избегал. Например, в статье 1887г. «*О весьма быстрых электрических колебаниях*», посвященной обнаружению индукционного действия токов смещения, ссылки на Максвелла вообще отсутствуют.

А в знаменитой статье Герца «*Об электродинамических волнах в воздухе*» (1888) теория Максвелла упоминается только в заключительных строчках, да и то после оговорки:

«Опыты, описанные в настоящей статье, как и предшествовавшие опыты по распространению индукции, изложены без ссылок на какую-либо теорию, т.к. эти опыты убедительны вне зависимости от какой-либо теории» (Hertz [1888], 1893,р.136).

В предисловии же Герца к первому сборнику статей по «электрическим волнам» (1893) прямо говорится о том, что :

«многие люди с усердием посвятили себя изучению работ Максвелла, но даже после преодоления значительных математических трудностей они вынуждены были оставить надежду составить для себя самосогласованную

картину максвелловских идей. *Я также отношу себя к этой группе»* (Hertz 1893, p.20).

И это понятно : как показали историки науки (см., например: Buchwald, 2001; Darrigol, 2001), Герц задумал свои эксперименты в 1886-1887гг. для проверки теории своего учителя – Германа Гельмгольца, а не Джеймса Максвелла. Неслучайно в ходе экспериментальных исследований Герц постоянно обсуждал «продвижение вперед» и полученные результаты «сразу же и весьма детально с Гельмгольцем» (Hoffman, 1998, p.6).

Для нашей работы важно, что теория Гельмгольца, проверкой которой так усердно занимался Генрих Герц, была очень похожа на теорию Максвелла в том, что она была **гибридной теорией**, сочетавшей и полевые элементы, и положения теории действия на расстоянии. С одной стороны, Гельмголец поддерживал максвелловскую идею о том, что электромагнитное излучение является волной в эфире. Но распространение этой волны Гельмголец объяснял при помощи теории действия на расстоянии. Дуализм теории Гельмгольца был во многом обусловлен тем, что в философии Гельмголец был учеником Канта и не пассивным подражателем, а скорее одним из тех, кто заложил основы неокантианства. Неслучайно в своей статье 1921г. Мориц Шлик усматривает основной результат гельмгольцевской эпистемологии в том, что он заменил кантовский априоризм во взглядах на пространство и время утверждением, согласно которому «евклидово пространство является не неизбежной формой нашей способности к интуиции, но продуктом опыта» (цит. по : Patton, 2009, p.282).

(D.2) Фарадей и Максвелл отнюдь не были первыми среди тех, кто высказал предположение о существовании электромагнитных волн.

Еще в 1853г. геттингенский математик Бернгард Риман предложил заменить уравнение Пуассона для электростатического потенциала волновым уравнением, согласно которому изменения этого потенциала должны распространяться со **скоростью света**. Другое дело, что статью с этими

результатами, сначала поданную в один из немецких журналов, Риман после продолжительных колебаний из редакции все-таки забрал.

Более того, *именно в рамках теории дальнего действия* в 1857г. Густав Кирхгофф, рассматривая распространение волноподобных изменений электрического тока в проводнике, впервые показал, что в пределе тонкого проводника и высокой проводимости подобные возмущения должны распространяться со скоростью  $V = C_w / \sqrt{2}$ , где  $C_w$  он определил из измерений Вебера и Кольрауша. В итоге Кирхгофф пришел к выводу о том, что эти волноподобные возмущения тока проводимости будут распространяться со «скоростью очень близко аппроксимирующей скорость света в пустом пространстве».

К тому же ключевая для корректного вывода уравнений Максвелла из лагранжева формализма идея о том, что электрические токи линейны, а магнитные силы являются вращательными, заимствована Томсоном (а через него – и самим Максвеллом) из электродинамики Ампера-Вебера.

(D.3) *Опыты Герца, в которых были открыты радиоволны, были запланированы и проводились в рамках не максвелловской, а гельмгольцевской исследовательской программы.*

Как позже отмечал сам Генрих Герц,

«Несмотря на мое величайшее преклонение перед максвелловскими математическими понятиями, я не всегда был уверен в том, что я схватил их физический смысл. Поэтому для меня не было возможным руководствоваться в моих опытах непосредственно максвелловской книгой. Вместо этого я руководствовался работами Гельмгольца, *как это ясно видно по манере постановки моих экспериментов*» (Hertz 1893, p.20).

Коллега и друг Максвелла немецкий физик Гельмгольц (как и его ученик Герц) скептически относился к максвелловской идее светового эфира и вместо нее разрабатывал концепцию, основанную на представлениях о диэлектрическом и диамагнитном веществе. Гельмгольц упорно пытался переполучить все значимые результаты максвелловской теории, не

отказываясь при этом от основных положений электродинамики Ампера-Вебера. В частности, он предполагал, что электростатические силы обязательно присутствуют в пространстве в качестве **особого** поля, и что изменение поляризации или смещения зарядов свидетельствует об изменении поля электростатического (Helmholtz, [1870],1882).

Исходя из этих допущений, Гельмгольц в работе *«Об уравнениях движения электричества в покоящихся проводящих средах»*, опубликованной в 1870, успешно вывел обобщенные уравнения, во многом сходные с уравнениями Максвелла, и показал, что в определенном предельном случае они переходят в максвелловские. Но в дополнение к обычным поперечным электромагнитным волнам, Гельмгольц обнаружил продольные электрические волны, распространяющиеся с бесконечной скоростью в максвелловском пределе  $k=0$ . Для подтверждения этих весьма нетривиальных выводов из своей теории в 1879 г. Гельмгольц организовал конкурс с премией за «Экспериментальное упрочение отношения между электромагнитным действием и поляризацией диэлектриков» и уговорил одного из лучших своих студентов – Генриха Герца – принять в этом конкурсе участие.

И в 1886-88гг. Герц занялся в Карлсруэ – пригороде Берлина – исследованием соотношений между теориями Максвелла и Гельмгольца в новой серии экспериментов. Он разработал целую серию измерений, исходящих из гельмгольцевского разделения общей электрической силы на электростатическую и электродинамическую компоненты, распространяющиеся с принципиально отличными друг от друга скоростями. Согласно Герцу,

«Общая сила может быть разделена на электростатическую и электродинамическую части; несомненно, что на коротких расстояниях преобладает и определяет направление действие общей силы первая, а на длинных – вторая компоненты» (Hertz [1888], 1893, p.110).

В соответствии с законом Кулона, электростатическая компонента должна быть пропорциональна обратному квадрату расстояния, в то время как электродинамическая компонента - только расстоянию в минус первой степени. В обычном разделе классической электродинамики этой ситуации соответствует член, описывающий продольную компоненту электромагнитного поля, и член, описывающий поперечную, или радиационную компоненту.

Герц задумал серию экспериментов, и его усилия были, как известно, вознаграждены. Но необходимо отметить, что заголовок герцевской работы 1888 г. *«О конечной скорости распространения электромагнитного действия»* может с современной точки зрения показаться старомодным, поскольку сторонники максвелловской теории, особенно т.н. «максвелловцы» (the Maxwellians) никогда не употребляли термины гельмгольцевской электродинамики. И тем более они никогда не расщепляли общую электрическую силу на электромагнитную и электростатическую части.

Но для тех современников Герца, которые поддерживали теорию Гельмгольца, значение полученных Герцем результатов было ясно: герцевские эксперименты делали качественное заключение о конечности распространения электромагнитной части, но ничего определенного не могли сказать об электростатической компоненте. Поэтому Герц в этой статье и делал важную оговорку:

«Из этого следует, что абсолютное значение первого из всего этого – того же самого порядка, что и скорость света. Ничего до сих пор нельзя сказать определенного о распространении электростатического действия».

Как отмечает современный исследователь творчества Гельмгольца и Герца Роман Смирнов-Руэда, некоторые герцевские измерения, судя по всему, свидетельствовали о мгновенном характере электростатической компоненты, но до конца он не был в этом убежден. Поэтому Герц предпочитал осторожные выражения:



« В силу того, что интерференции вне всякого сомнения изменяют знак после 2,8 метров в окрестности первого осциллятора, мы можем заключить, что электростатическая сила, которая в данном случае превалирует, распространяется с бесконечной скоростью» (Hertz [1888], 1983, p.110).

По сути дела последняя часть приведенной цитаты предвещала открытый переход Герца в «максвелловскую веру». С точки зрения Герца, существование двух различных скоростей приписываемых двум различным частям электромагнитного действия делает задачу анализа слишком сложной. То есть из двух различных объяснений полученных данных Герц выбрал такое, которое в большей степени соответствует критерию «простоты», который им и до этого применялся постоянно к уравнениям Максвелла.

«Гельмгольц различает между двумя видами электрической силы – электромагнитным и электростатическим, – которым, до тех пор пока экспериментом не будет доказано противоположное, - приписывается две различные скорости. Интерпретация моих экспериментов с этой точки зрения ни в коей мере не является ошибочной, но она возможно излишне усложнена. В особом предельном случае теория Гельмгольца становится значительно проще, и ее уравнения в этом случае сводятся к уравнениям максвелловской теории; остается только одна сила, которая и распространяется со скоростью света» (Hertz [1889], 1893, p.121 ).

**(Е) Влияние идей Фарадея и на юного, и особенно на зрелого Максвелла сильно преувеличено,** не в последнюю очередь самим создателем электромагнитной теории света (возможно, отчасти из патриотических побуждений). Вне всякого сомнения, влияние фарадеевских «Экспериментальных исследований» (1839-1855), опытов не только по электромагнитной индукции (1831) но и особенно по вращению плоскости поляризации света в магнитном поле (1845) на создание максвелловской теории трудно переоценить. Но и в этом случае следует разделять сами экспериментальные исследования и те философские идеи, которые за их интерпретацией стоят.

Для самоучки, не имевшего не только высшего, но и полноценного среднего образования, сына деревенского кузнеца, зятя старосты

находившейся в весьма непростых отношениях с англиканской церковью, «фундаменталистской» сандаманианской христианской общины, который впоследствии сам эту же общину и возглавил, была характерна твердая вера в целесообразность и разумность устройства мира Творцом.

Отвечая в 1844г. на вопросы о своих религиозных взглядах, Майкл Фарадей отмечал:

«на мой взгляд, дискуссия по религиозным вопросам – пустое дело. В моей религии никакой философии нет. Я принадлежу к очень маленькой и презираемой (despised) секте христиан, известной, если вообще известной кому-нибудь, как сандаманиане, и наша надежда – в вере в Христа» (цит. по : Dr.Vence Johns,1870, p.195) .

В 1846г., выступая в своем Королевском Институте (Royal Institution) по вопросам электричества и магнетизма, Фарадей специально отмечал, что

«наша слабая философия, позволяет увидеть в каждой частице материи центр силы, действующей на бесконечные расстояния, связывающей вместе молекулы и ионы и твердой в своем постоянстве. Вокруг каждой частицы мы видим силы различных явлений природы..., настолько гармоничную работу всех этих сил, что каждая молекула предстает как реализация могущественного замысла... И поэтому наша философия, по мере того, как она раскрывает нам эти вещи, неминуемо должна вести нас к Нему – к тому, кто все эти вещи отделил; ибо сказано авторитетом гораздо высшим, чем наш собственный : “ невидимые вещи Его с начала сотворения мира ясно видны, будучи поняты посредством тех вещей, которые им сотворены, и даже *Его всемогущество и божественность*”» (цит. по: Dr. Vence Johns, 1870, p.229).

В другой лекции, прочитанной в том же учреждении «в присутствии принца Альберта», Фарадей заявил, что

«тучи, затемняющие наш взор, тают с каждым днем, и я не сомневаюсь в том, что нас ожидают славные открытия в области естественных наук, раскрывающие *мудрость и мощь Творца*» (там же, p.244).

Один из современных исследователей творчества Майкла Фарадея – английский историк науки Колин Рассел – утверждает, что несколько лет назад в библиотеке Института Электрических Инженеров был найден любопытный документ – приватный меморандум Фарадея, не

предназначенный его автором для публикации. Документ был посвящен разъяснению взглядов Фарадея на актуальные в то время проблемы атомов и полей. В отличие от его научных публикаций, он содержал несколько упоминаний Бога, в частности, выражал удивление по поводу того, почему Господь не размещал «энергию» вокруг точечных центров сил (Р. Бошкович) с той же легкостью, с которой он делал это вокруг материальных ядер. Именно теология всемогущего Творца привела Фарадея к идее о точечных центрах сил и, в конечном счете, о полях, которые их окружают.

Согласно другому известному исследователю творчества Фарадея – английскому историку науки Пирсу Вильямсу (L.Pearce Williams)– фарадеевская вера в единство сил материи раскрывало его веру в гармонию творения, принесенную в мир щедростью Творца, приведшего различные части Вселенной в гармоничное единство (Pearce Williams, 1965, 1966)..

Но блестящему студенту эдинбургского университета и выпускнику, а затем аспиранту Кембриджа, сыну преуспевающего юриста лорду Джеймсу Клерку Максвеллу был присущ глубокий скептицизм Юма, Беркли и Канта, впитанный на лекциях сэра Уильяма Гамильтона по философии сознания, читавшихся в эдинбургском университете. Эти лекции, которые «интересовали его чрезвычайно», не только оказали на лорда Максвелла «сильное впечатление», но и развили его «любовь к спекуляциям, к которым он в итоге оказался весьма склонен».

Именно сэр Гамильтон с его релятивизмом и глубокими сомнениями в возможностях познания сущностей вещей привил Максвеллу вкус к основам кантианской философии. Например, в одном из упражнений по курсу философии Максвелл отмечает, что утверждения, согласно которым длина, ширина и толщина принадлежат исключительно материи, «неверны, поскольку они принадлежат также к геометрическим фигурам, в свою очередь являющимся формами мысли» (Lewis & Garnett, 1881, p. 65). Уже после Эдинбурга, приступая к занятиям в Кембридже и разрабатывая «обычное обилие планов на будущее», под пунктом 4 (метафизика) Максвелл

намечает «прочтение кантовской “Критики чистого разума” на немецком с целью согласования ее с сэром У. Гамильтоном» (цит. по : Lewis & Garnett, 1882 , p. 77).

Об отношении к другому классику британской философии свидетельствует следующее замечание в одном из писем юного Максвелла к отцу, отправленное 25 марта 1854г. :

«Я читаю “ Теорию зрительного восприятия“ Беркли и чрезвычайно ею восхищен, равно как и другими его нематематическими работами; правда, я был весьма разочарован, когда обнаружил, что он в конце концов попал в капкан, который сам же своими парадоксами и расставил» (Lewis & Garnett, 1881, p. 109). Неслучайно и «у Конта имеются хорошие идеи о научном методе, но никакого понятия о человеке» (там же, p.108).

И, наконец, в своем центральном философском произведении - эссе «Существуют ли реальные аналогии в Природе?» (1856) - Максвелл занимает по основополагающим вопросам кантианскую позицию, отмечая :

«что касается пространства и времени, любой скажем вам , что общеизвестно и твердо установлено, что “ они лишь изменения наших собственных сознаний“ ...Поскольку у нас нет ни одной причины верить, на основе простой смены впечатлений, что различия в положении, так же как в порядке появления, существуют среди самих причин этих ощущений» (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p. 121).

Но оговоримся, что речь идет только о Канте, но не о немецкой классической философии вообще. Известно, например, ироничное замечание Максвелла о работе одного из современников: « хотелось бы надеяться на то, что изучение Гегеля оказало на автора благоприятное воздействие» (Campbell & Garnett, 1882, p. 108).

Конечно, сказанное выше не означает, что Максвелл был атеистом; аналогично, мало кто сомневается в том, что автор «Критики чистого разума» действительно отодвинул «границы разума для того, чтобы расчистить место для веры». Известно высказывание Максвелла о том, что «я согласен с утверждением о том, что конечная цель человека – прославление Бога и принятие его навечно» (Campbell & Garnett, 1882, p. 87).

Или, например, в лекции, прочитанной по случаю вступлению в должность профессора физики абердинского университета в 1856г., будущий создатель теории электромагнитного поля особо отмечал, что

«как только мы познакомимся с одним или двумя великими законами физики, мы начнем смотреть на Вселенную как на реализацию высочайших принципов Красоты и Порядка; мы подготовлены к тому, чтобы рассматривать Природу не как простой набор чудес, удовлетворяющих наше любопытство, но как систематизированный музей, задуманный для того, чтобы шаг за шагом представить нам те фундаментальные принципы, которые использованы в трудах Создателя» (Campbell & Garnett, 1882, p. 420).

Правда, весьма либеральная религиозность Максвелла предполагала не только жесткое разграничение научного разума и веры, но и также характеризовалась следующим, не менее известным его утверждением :

«Я полагаю, что те результаты, к которым человек приходит в своих попытках гармонизировать свою науку с христианством, не должны рассматриваться как имеющие какое-либо другое значение, кроме самого человека, да и для него только в течение определенного времени, но общество не должно накладывать на него свой отпечаток» (Campbell & Garnett, 1882, p. 465).

И , будучи «сыном своего времени», он никогда не принадлежал в течение долгого времени ни к какой церкви; как он сам отмечал,

«моя вера слишком глубока для того, чтобы находиться в оковах какого-либо **одного** множества мнений».

Далее, как отмечает один из отечественных знатоков творчества Максвелла, объяснение принятия полевой концепции симпатией к близкодействию на первый взгляд представляется весьма естественным и правдоподобным (Шапиро, 1973). Но это объяснение не подтверждается анализом работ Максвелла. Из них следует, что относиться к полю как к физической реальности автор «Трактата об электричестве и магнетизме» начал довольно *поздно*: лишь после того, как вывел из своих уравнений существование (электро) магнитных волн, т.е. после введения тока смещения. До этого поле он использовал с «откровенно иллюстративной»

целью – для построения наглядных образов весьма и весьма сложных векторных дифференциальных уравнений.

Например, в одной и той же работе для разъяснения разных аналитических соотношений Максвелл использует значительно отличающиеся друг от друга модели. Так, в работе «О фарадеевых силовых линиях» он замечает:

«На эту субстанцию не следует смотреть так же, как на гипотетическую жидкость в смысле, который допускался старыми теориями для объяснения явлений. Она представляет собой исключительно совокупность фиктивных свойств, составленную с целью представить некоторые теоремы математики в форме более наглядной и с большей легкостью применяемой к физическим задачам, чем форма, использующая чисто алгебраические символы...» (цит. по : Шапиро, 1972, С.327).

Переход к дифференциальным уравнениям в частных производных, составлявший содержание этой статьи, отнюдь не состоял в переходе к физическому близкодействию. Уравнение Пуассона для потенциала тяготения, например, известное и Максвеллу, и его современникам, никто и не собирався интерпретировать в духе полевой концепции. Как полагал сам Максвелл, тяготение не должно было истолковываться в рамках физической теории поля. Поэтому

«исходными пунктами электродинамических исследований Максвелла вряд ли были априорная убежденность в необходимости близкодействия и стремление свести электромагнитные явления к чисто механическим. Насколько можно судить по работам Максвелла и последовательному развитию идей в этих работах, первоначальным стимулом к пересмотру господствовавших представлений была неудовлетворенность чисто эмпирическим характером закона взаимодействия движущихся зарядов, отсутствием *органической связи* между покоящимся и движущимся электричеством» (Шапиро, 1972, С.331).

Далее, специфические черты фарадеевского понятия поля состоят в том, что сила – это субстанция, причем субстанция единственная, и что все силы способны ко взаимопревращениям посредством различных движений силовых линий. Но Максвелл, пытаясь найти математическое выражение

непрерывных преобразований электрических и магнитных сил, рассматривал последние как стрессы и натяжения в механическом эфире (подробнее см.: Nersessian, 1985).

**Цель данной работы – более полно раскрыть интертеоретический контекст максвелловской революции.** Это означает, что я намереваюсь предложить такую рациональную реконструкцию генезиса и становления максвелловской электродинамики, которая принимает во внимание обстоятельства (A) – (E) и обеспечивает тем самым, выражаясь языком Имре Лакатоса, «теоретически - прогрессивный сдвиг решаемых проблем» по отношению к другим «внутренним» объяснениям. Это позволяет заключить, что максвелловская революция является гораздо более сложным явлением, чем это может показаться с точки зрения ряда известных концепций научных революций (см., например: Kuhn 1977; Lakatos 1978).

Взятое само по себе, это суждение тривиально: любое социальное явление, как отмечал, например, Пол Фейерабенд, всегда сложнее теоретических представлений о нем. Но мне представляется, что один из основных недостатков упомянутых концепций – отсутствие описания процесса *взаимодействия* «парадигм», «научно-исследовательских программ», «исследовательских традиций» и т.д. (Нугаев, 1989; 2010; 2012). Без учета этого обстоятельства рациональная реконструкция научной революции, теоретически воспроизводящая ее эпистемологическую *необходимость*, на мой взгляд, невозможна. Объяснить (задним числом) в истории можно все, что угодно. Но одно дело – показать, что данное событие *могло* произойти, а совсем другое дело – показать, что оно *должно* было произойти. И одна из задач данной работы – показать, что это замечание особенно справедливо по отношению к истории максвелловской революции.

Судя по всему, жесткие демаркационные линии, непреодолимые барьеры между теоретическими онтологиями, относящимися к разным «парадигмам», существуют только в головах философов науки. В реальной практике научных исследований эти границы постоянно нарушались и

нарушаются, и, как я попытаюсь показать, эти нарушения часто были плодотворными для дальнейших исследований.

Я попытаюсь продемонстрировать, что исследовательская программа Максвелла в конечном счете превзошла программу Ампера-Вебера потому, что она была **«синтетической»** (в смысле, более детально раскрытом, например, в работе Нугаева, 1989). Она представляла, по выражению одного из максвелловских философских наставников – кантианца Уильяма Уэвелла – «следующую ступень постепенного восхождения наших спекулятивных воззрений на все более и более высокую ступень обобщения» (Whewell 1847, vol. 2, p.74). В противоположность максвелловской, программа Ампера-Вебера была *редукционистской* (в смысле, более детально раскрытом в работе Нугаева, 1989). Она стремилась свести все теоретические онтологии к одной и той же онтологии «действия на расстоянии».

В частности, программа Максвелла не только успешно **ассимилировала ряд положений** твердого ядра программы Ампера-Вебера, соединив их с рядом «полевых» идей Фарадея и положений оптики Юнга и Френеля, но и была **открыта для синтеза** с другими исследовательскими традициями. Я полагаю, что данное обстоятельство имеет немаловажное значение для авторской версии методологии научно-исследовательских программ (см. подробнее : Нугаев, 2010), позволяя не столько подтвердить последнюю, сколько уточнить особенности построения теорий в рамках т.н. **«синтетических глобальных программ»**.

Согласно устоявшимся представлениям, основное достоинство обычной научной теории – ее способность «предвосхищать» (anticipate) новые научные факты, которые еще не наблюдались, обеспечивая «эмпирически-прогрессивный сдвиг решаемых проблем». Но перед синтетической теорией стоит гораздо более сложная и амбициозная задача: объединить не факты, а теории. Поэтому ее достоинство – в предвосхищении не столько фактов, сколько теорий, в приспособлении к новым теоретическим подходам, в способности эти подходы ассимилировать,



«включить в себя», пусть даже в существенно преобразованном виде. При этом эти ассимилированные подходы продолжают «жить» в рамках нового теоретического языка, не утратив способности предсказывать свои собственные экспериментальные «факты».

Например, как отмечал в известном предисловии к изданному в Лондоне первому сборнику своих работ по «электрическим волнам» Генрих Герц,

«с самого начала теория Максвелла превосходила все другие в элегантности и в *изобилии отношений между различными явлениями*, которые она включала. Вероятность этой теории, и, следовательно, число ее сторонников, увеличивалось из года в год» (Hertz 1893, p.19).

Это «*изобилие отношений*», с нашей точки зрения, и было обусловлено тем, что фактически Максвелл синтезировал не только отдельные результаты, не только математические формулы и экспериментальные данные, но и «твердые ядра», и даже «эвристики» встретившихся исследовательских программ. Но смог он это сделать потому, что выдвинул в качестве **объединяющего начала** идею, носившую, в отличие от программы Ампера-Вебера, не «деревянный» онтологический, а гибкий (flexible), кантианский, антинатурфилософский, подчеркнуто **эпистемологический** характер. Для Максвелла последним «первокирпичиком» физической реальности был отнюдь не эфир, из которого надо было тщательно конструировать как поля, так и заряды, и тем более не непосредственное «действие на расстоянии». И это действие, и «несжимаемая жидкость», и «вихри в эфире» для него были лишь **модельными** представлениями, в лучшем случае способными лишь «навести» (inductio) на правильные математические соотношения.

С точки зрения репрезентации электромагнитных феноменов все эти гидродинамические модели были лишь жалкими и заранее обреченными на неудачу попытками описать неопишное – «вещи в себе», «природу»

электрических и магнитных явлений. Напротив, целью **своей** программы Максвелл поставил нахождение эмпирически-содержательных математических отношений между базисными объектами электродинамики, т.е. создание **самосогласованной** системы уравнений электромагнитного поля.

- Неслучайно в своих лекциях, посвященных максвелловской электродинамике, даже такой известный реалист (и борец с освальдовским энергетизмом) как Людвиг Больцман одобрительно характеризовал точку зрения Герца, согласно которой электричество – «это мыслительный конструкт, служащий для изображения интегралов определенных уравнений» (цит. по : Buchwald, 1994, p. 258). Именно поэтому как только Максвелл получил свои уравнения из весьма и весьма сомнительных модельных представлений и как только он убедился в самосогласованности своей системы, он тут же стал пытаться переполучить свои уравнения из более абстрактного и надежного лагранжева формализма.

Поэтому его глобальная программа и могла свободно парить в пространстве опыта - расширяться, присоединяя к себе и перерабатывая в своем духе куски весьма разнородного материала, относившегося к другим исследовательским программам – Френеля, Ампера-Вебера («эффект Фарадея») и Фарадея («опыты Герца»). *Мета-программа* Максвелла, эпистемологическая «программа над программами» задавала не столько конкретные результаты, сколько **способ теоретического развертывания** электродинамики, в котором методология имела теперь ключевое значение. Максвелл вел себя в данном случае в соответствии с рецептами своего наставника, ректора кембриджского Тринити Колледжа Уильяма Уэвелла :

«физики-первооткрыватели отличались от фантазеров (barren speculators) не тем, что в их головах не было никакой метафизики, но тем, что у них была, в отличие от их оппонентов, **хорошая метафизика**, а также тем, что они **связывали** свою физику со своей метафизикой вместо того, чтобы держать их вдали друг от друга» (Whewell 1847, vol. 1, p.X).

Генезис максвелловской электродинамики был гармонично встроен ее создателем в общий процесс нововременной **деонтологизации**, начавшийся еще в XVI-XVII вв. с отказа от аристотелевской онтологии : «поиск сущностей я считаю занятием суетным и бесперспективным» (Галилей). В силу того, что истина постигается в опыте, и мы познаем не столько вещи «сами по себе», сколько феномены, необходимо отказаться от допущения самой возможности абсолютного знания. Согласно духу науки нового времени, зафиксированному Кантом, сама «являемость вещей в опыте» включает в себе истинно-сущностный характер. Феномены не есть просто сущностные явления, сквозь которые «проглядывает» так или иначе замутненная сущность; они есть прежде всего сущее в своем собственном состоянии. Феномены человеческого опыта включают в себе **всю** полноту постигаемой достоверности.

Следующий серьезный шаг в реализации этой «галилеевской» эпистемологической программы был сделан Ньютоном, наотрез отказавшимся от поиска природы всемирного тяготения и давшим вместо раскрытия сущности тяготения и объяснения причин того, почему тела притягиваются друг к другу, просто математически точное описание того, с какой силой стремятся друг к другу разнообразные тела (*hypothesis non fingo*). Правда, в частной переписке (письмо к Бентли) создатель классической механики вовсе не отказывался от спекуляций о природе тяготения, связывая последнюю с декартовским эфиром, что свидетельствует в пользу неустойчивости его мировоззренческой позиции.

Но уже сам Максвелл **принципиально** отказывался, с высоты своей кантианской эпистемологической позиции, от выяснения природы электричества и магнетизма и рассматривал эфир, в отличие от своего старшего товарища Уильяма Томсона, лишь как элемент модельных представлений, способствующих классификации и аккумулярованию соответствующих «фактов» из области электромагнетизма.

Герц пошел еще дальше, пытаясь обосновать точку зрения, согласно которой эфир, как носитель электромагнитных взаимодействий, излишен. Он выбрал теорию Максвелла лишь как самую простую из всех имевшихся альтернативных описаний.

Но оставалась еще другая «онтологическая» функция эфира – быть вместилищем абсолютной системы отсчета. От этой функции освободил физику Альберт Эйнштейн, продемонстрировавший, что именно эфир препятствует единому рассмотрению электричества и магнетизма и выявлению их симметрии, так много значившей для таких его современников, как Оливер Хевисайд. Эйнштейн и сделал первый шаг (1905) в направлении отказа от рассуждений о природе пространства и времени.

Следующий шаг (1915) состоял в сведении природы гравитационного поля к искривлению пространства-времени, когда компоненты напряженности гравитационного поля стали выражаться через сугубо геометрические величины – метрику, символы Кристоффеля, тензор кривизны и т.д. Последовавшие вслед за этим попытки создания «единой теории поля», наглядным представителем которой является модель Калуцы-Клейна, увенчались современной теорией суперструн.

Но сказанное выше в то же время не означает, что я во всем согласен с выводами упомянутых выше М. Моррисон, Д. Сигела и О. Дарриголя. В частности, я полагаю, что одним из основных недостатков исследования М. Моррисон является *недооценка* ею роли механистического мировоззрения для получения максвелловских результатов 1854-1855, 1861 и 1864 гг. Ведь уравнения Максвелла представляют собой, по словам И.С. Шапиро, пример фундаментального физического закона, явно *угаданного*, а не «выведенного», в ригористском смысле слова, из экспериментальных данных (Шапиро, 1972, С.319).

Скажем, в 1861 г. в процессе работы над частями статьи «*О физических силовых линиях*» Максвелл сообщает в письме одному из своих товарищей по Кембриджу о том, что

«сейчас я пытаюсь придать точную математическую форму всему тому, что известно об электромагнетизме без помощи гипотез, а также выяснить, *какие изменения формулы Ампера, не противоречащие ей, возможны*» (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p.163).

Тем самым Максвелл подчеркивает, что можно получить самые разные варианты, делающие систему его уравнений самосогласованной, и **только следующие из вихревой модели соображения однозначно ведут к тому выражению для тока смещения, которое сохранилось и доныне**. Конечно, впоследствии он переполучил свои уравнения из лагранжева формализма, не прибегая к «модельным» представлениям, но это уже был вывод *post hoc*. Лагранжиан (как это знают современные специалисты по физике элементарных частиц) заранее выбирался таким, чтобы еще раз получить выражения, содержащие ток смещения, первоначально полученный на основе модельных соображений. Как справедливо отмечает , говоря о функциях аналоговых моделей, В.С. Степин

«последние же были не просто вспомогательными средствами, чем-то вроде строительных лесов, которые должны быть убраны, когда построено здание теории. Они служили особыми **каркасами**, часть которых становилась арматурой для возводимых стен теоретической постройки, входила в само “тело” создаваемой теории, а вторая, внешняя часть, связанная с наглядно-образной формой модели, оставалась лесами, которые облегчали создание теории и были устранены после ее создания» (Степин, 2000, С.371).

С нашей точки зрения, тем «каркасом», о котором говорится в приведенной выше цитате, был в случае максвелловской электродинамики *«ток смещения»*, установивший такие связи между встретившимися исследовательскими программами, что любое продвижение в рамках одной из них неминуемо вело к изменению содержания другой. В общем случае именно гибридные объекты - **узлы** теоретических традиций - связывают встретившиеся программы, обеспечивая поиск и установление плодотворных связей между ними, когда новые результаты, полученные в рамках одной программы, помогают получению новых результатов в рамках другой.

Один из уроков истории максвелловской электродинамики состоит в необходимости различать «степени гибридизации»: гибридные объекты «второго порядка» (crossbreeds) и гибридные объекты «первого порядка» или просто гибриды (hybrids). Гибридные объекты второго порядка, подобные «току смещения», являются результатом **скрещивания** базисных объектов встретившихся теорий. А просто гибриды, подобные максвелловским теоретическим схемам в статье 1861г., описывавшим взаимодействие эфирных вихрей с молекулами – это **смеси**, составленные из разнородных элементов. Только гибридные объекты второго порядка сохраняются при всех дальнейших развитиях теории. «Просто гибриды», представляющие собой источники постоянной головной боли для теоретиков, одновременно являются движущей силой развития исследовательских традиций. Так, в частности, дуализм максвелл-лоренцевской электродинамики индуцировал создание специальной теории относительности (подробнее см.: Nugayev, 1985).

Далее, Д. Сигел все-таки недооценивает кантианскую, агностическую составляющую мировоззрения Максвелла, рассматривая его творчество как обычную для философского дилетанта серию «эклетиических» колебаний между механистическим материализмом и агностицизмом.

Более того, в своей фундаментальной *«Электродинамике от Ампера до Эйнштейна»* (2001) О. Дарриголь, как историк науки, скрупулезно описал процесс коммуникации между различными традициями в электродинамике, охватывающий также и континентальную и британские традиции.

«Третья тема [моей работы] – это **коммуникация между различными традициями**. Хорошо известная особенность истории электродинамики – это долгое сосуществование подходов, основанных на полевых понятиях и на понятиях действия на расстоянии. Менее известны различные стратегии, которые принадлежащие к этим традициям физики разрабатывали для того, чтобы общаться друг с другом. Например, Максвелл выделял более феноменологический уровень электродинамической теории, который мог разделяться континентальными физиками; и Гельмгольц реинтерпретировал максвелловскую теорию в терминах континентальной

концепции поляризации... Мы идентифицировали несколько пар традиций: британскую /континентальную, веберовскую/неймановскую, томсоновскую /максвелловскую, в которых глубокие различия существовали на различных уровнях – от онтологических обязательств до социо -институциональных, экспериментальных и теоретических практик. Тем не менее, представители этих антагонистических традиций общались друг с другом такими способами, которые допускали сравнения, адаптации и *взаимные оплодотворения*» (Darrigol 2001, pp.VIII-IX).

Но наверное именно поэтому, сосредоточившись на раскрытии историко-научного контекста, он не уделил достаточное внимание контексту эпистемологическому, связанному с разработкой **общего механизма взаимодействия** исследовательских традиций как на логико-методологическом, так и на и социально-психологическом уровнях.

В результате недооценки значения кантианской эпистемологии в творчестве Максвелла, Дарриголь также недооценивает влияние на максвелловскую электродинамику идей не только Г. Гельмгольца, но и Ампера и Кирхгофа, а также Неймана и Вебера. Он утверждает, что

«максвелловская теория была *чисто полевой* теорией, игнорирующей современную дихотомию между электричеством и полем» (Darrigol, 2001, p.173).

Но максвелловская электродинамика, как это будет показано далее, не была чисто полевой теорией. Другое дело, что для интерпретации результатов своих экспериментов по «электрическим волнам» Генрих Герц мастерски отделил от «зарядовой» ее «полевую» часть, которая относится к описанию процесса распространения электромагнитных волн вдали от источника, и старательно исследовал последнюю в серии тщательно продуманных и виртуозно исполненных экспериментов.

Руководствуясь кантианской эпистемологией, – причем не только в развертывании теоретического аппарата, но и в планировании и проведении опытов, - Герц искусно оставил за скобками вопрос о природе осциллятора электромагнитных волн как некоей «**вещи в себе**». Он отделил эту «вещь» на своих знаменитых диаграммах кружочком от подробно выписанной

картины распространения электромагнитных волн (Buchwald, 1998). Но и этого оказалось недостаточно. Для того, чтобы оставить за скобками гельмгольцевскую интерпретацию полученных результатов (Smirnov-Rueda, 2001) и сосредоточиться только на максвелловской, Герц вынужден был прибегнуть к весьма амбивалентному критерию «простоты», которому он впоследствии и пытался придать более четкие очертания в своих *«Принципах механики»*.

В общем случае, я полагаю, что **основной недостаток работ Д. Сигела, М. Моррисон и О. Дарриголя – недооценка значения собственной методологии Максвелла**, разработанной им для своего амбициозного проекта синтеза механики, электродинамики и оптики. Но чем бы Максвелл не занимался – метафизикой, эпистемологией, математикой, физикой, химией – везде он пытался найти **свой** путь, как правило независимый от подходов других исследователей (как это, впрочем, отмечали многие близко знавшие его люди, такие, например, как профессор Питер Тэт).

Как сам Максвелл неоднократно отмечал, - например, в инаугурационной речи перед вступлением в должность профессора маришальского колледжа, -

«хорошо, если каждый человек живет *своим умом*, и не принуждается к принятию способов мышления других людей под внешне благопристойным предлогом изучения науки» (цит. по : Mahon, 2003, p. 70).

Известно, что в круг особо чтимых Максвеллом мыслителей входили Аристотель, Кант, Дугалд Стюарт, Адам Смит, Уильям Гамильтон, Джон Вильсон и Уильям Уэвелл. Как отмечал в одном из писем и сам автор *«Трактата об электричестве и магнетизме»*,

**«метафизика постоянно нравится мне больше, чем вычисления, и моя собственная метафизика настолько быстро приобретает черты твердости и высокого стиля, что уже в десять раз превосходит Уэвелла, так же как последний превосходит Милля, и так же как Милль, в свою очередь, превосходит Конта или Маколея»** (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p.411).



Необходимо принять во внимание, *когда* это письмо было написано – в июле 1856г., - в процессе обдумывания идей основополагающей электродинамической статьи «*О фарадеевых силовых линиях*». Это отношение к метафизике не было связано только со свойственным юности романтизмом, поскольку Максвелл сохранил его на всю жизнь. Так, уже в конце творческого пути, в рецензии на книгу своего друга он отмечал, что

«мы рады обнаружить, тем не менее, что несмотря на презрение, с которым проф. Тэт относится к априорной физике тех философов, которые не имеют никакого отношения к эксперименту, он признает, что существует **истинная наука метафизики**, которая обсуждает фундаментальные идеи всех наук и познания не за счет того, что она отбрасывает все опытные факты, но за счет привлечения всех научных данных» (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p.309).

Как тут не вспомнить ироничный отзыв Кирхгофа: «Максвелл, конечно гений, но все его вычисления надо перепроверять». Любопытно сравнить максвелловское отношение к философии с отношением другого, особенно близко подошедшего к созданию новой электродинамики физика – Германа Гельмгольца (мировоззрение которого также было весьма близко к кантианству). Последний писал, например, в 1869г. одному из своих **знакомых**:

« я нахожу, что слишком обильные занятия философией меня несколько деморализуют, в результате чего мои мысли становятся вялыми и расплывчатыми» (цит. по : Darrigol 2001, p.220).

Представляется, что все эти аргументы заставляют внимательнее отнестись к замечаниям такого современника Максвелла и знатока его творчества как Людвиг Больцман. И в лекциях по максвелловской теории, и особенно в примечаниях к статьям Максвелла по электродинамике, переведенным Больцманом на немецкий язык, последний справедливо указывал, что многие произведения Максвелла, но особенно его *ранние* статьи по электродинамике «**не были достаточно поняты**». Возможно, это объясняется тем, что эти работы, «написанные по хорошо обдуманному

заранее плану» показывают, что их автор **«был столь же крупным творцом в теории познания, как и в области теоретической физики»** (Больцман, 1952, С.90).

С этой точки зрения, больцмановское замечание справедливо даже по отношению к такому знатоку максвелловского творчества, как Генрих Герц. Для последнего характерно, например, следующее замечание:

« Но ни в коем случае непосредственное доказательство этих уравнений [Максвелла ] не может быть выведено из опыта. Представляется особенно логичным, поэтому, рассматривать их независимо от способа, которым они сначала были получены, рассматривать их как гипотетические предположения, и сделать их вероятность зависящей от очень большого законов природы, которые они охватывают. Если мы примем эту точку зрения, мы можем расстаться с числом вспомогательных идей, которые делают понимание максвелловской теории более трудным, частично потому, что они бессмысленны» (Hertz [1889], 1893, p. 138).

В своих работах (1891-1893) Больцман соглашался с Герцем в том, что максвелловские понятия заряда и тока *«непоправимо туманны»*. Но по отношению к электродинамике Ампера-Вебера он был более суров:

«Несомненно полезно сохранить теорию Вебера как образец предупреждения на все времена о том, что мы всегда должны сохранять определенную *интеллектуальную гибкость*» (цит. по : Buchwald, 1994, p. 261).

Больцман постоянно подчеркивал необходимость *плюрализма* подходов, как математических, «феноменологических», так и физических, «картинных». С последовательно проводимой в данной работе точки зрения, **гибкая** «плюралистическая» методология Максвелла, выросшая из стремления найти разумный баланс, эпистемологический компромисс между крайностями кантианского априоризма и шотландского « реализма здравого смысла» (common sense realism), явилась не только вполне самостоятельной, но и *необходимой* компонентой его творчества. Без нее максвелловский синтез оптики и теории электромагнетизма никогда бы не состоялся.

С нашей точки зрения, эпистемологическая позиция Максвелла достаточно ясно обозначена не столько в его собственно физико-математических работах, сколько в двух основных работах общего характера – в упоминавшемся выше эссе «*Существуют ли реальные аналогии в Природе?*» и особенно в очерке «*Гельмгольц*», в котором он специально рассматривает методологические проблемы синтеза двух различных зрелых (mature) теорий  $T_1$  и  $T_2$ . Этот очерк и коммуникации с Гельмгольцем занимали важное место в творчестве Максвелла. Неслучайно сам Гельмгольц сыграл весьма значимую роль в дальнейшей разработке и самой методологии исследования электромагнитных явлений, и в развитии теории Максвелла. Именно его ученик Герц внес решающий вклад и в развитие максвелловской теории, и в ее экспериментальное подтверждение.

Эпистемология Максвелла, контуры которой «просвечивают» через его философские работы, может быть вкратце охарактеризована следующим образом. Научное познание есть совокупность различных теоретических и экспериментальных традиций, разнообразных исследовательских «практик», каждая из которых эволюционирует относительно независимо от других. Несмотря на то, что подобный плюрализм является необходимой составляющей процесса познания, подлинный прогресс в его развитии может быть достигнут лишь тогда, когда различным традициям удастся придти во **взаимодействие**, состоящее прежде всего в том, что эти традиции не только вызывают значительные изменения друг в друге, но иногда даже способны объединиться, породив более общую традицию, содержащую взаимодействовавшие в качестве своих значительно преобразованных компонент.

Именно взаимодействие исследовательских традиций Аристотеля и Птолемея – «физики Земли» и «математики Неба» - привело к генезису классической механики, когда

«прогресс науки состоял в освобождении от небесных механизмов, которыми поколения астрономов загромождали небеса, в смывании паутины (sweeping cobwebs off) с неба» (Maxwell, 1890, p.315; см. также : Нугаев, 2012).

Аналогично, взаимодействие других исследовательских традиций - экспериментальной - Фарадея - и математических - Юнга-Френеля и Ампера-Вебера - привело к созданию максвелловской электродинамики за счет создания целого конгломерата гибридных объектов и прежде всего т.н. «тока смещения», сконструированного из базисных объектов всех трех встретившихся программ.

Далее, взаимодействие теоретической традиции – гибридной программы Гельмгольца – с экспериментальной привело к получению Герцем своих экспериментальных результатов, послуживших убедительным аргументом в пользу существования радиоволн. В процессе этого взаимодействия, продолжавшегося несколько лет, встретившиеся традиции постоянно корректировали друг друга. Влияние эмпирической традиции состояло в последовательном отборе наиболее простых по отношению к «фактам» теоретических объяснений, в то время как влияние теоретической состояло в отборе тех экспериментальных фактов, которые представлялись наиболее существенными, и в обозначении перспективных направлений эмпирических исследований.

Было бы странным, если бы Герц оказался первым, кто наблюдал радиоволны. И действительно, до него стоячие электромагнитные волны обнаружил Хьюз. Радиоволны в 1875-1882гг. также наблюдались и самим Томасом Альвой Эдисоном. Но никто из них не был настолько осведомлен в теории Максвелла для того, чтобы связать наблюдаемые эффекты с электромагнитным излучением.

С другой стороны, роль (электромагнитной) теории в герцевском открытии не следует и преувеличивать. Согласно самому Герцу

«Я также не верю в то, что можно было придти к познанию этих явлений только на основе одной только теории. Поскольку их появление на нашей экспериментальной сцене зависит не только от их теоретической возможности, но также и от особых и удивительных свойств электрической искры, которые не могут быть заранее предсказаны ни одной теорией» (Hertz,1893,p.17).

И, наконец, в 1905г. в статье «*К электродинамике движущихся тел*» Эйнштейн показал, что электрические и магнитные силы составляют части одного и того же физического явления – электромагнитного взаимодействия. Разделение этого взаимодействия на электрическую и магнитную компоненты носит во многом условный характер и в большой степени зависит от системы отсчета, в которой мы описываем взаимодействие. Важно также, что в работах Эйнштейна проблема «дополнительности» электрического и магнитного полей оказалась на самом деле связанной с другой, более глубокой проблемой – «дополнительности» полевого и корпускулярного описания электромагнитных явлений.

В итоге история становления максвелловской электродинамики еще раз свидетельствует о том, что само содержание столь привычных для философа науки понятий как «верификация», «фальсификация», «предсказание» в значительной мере должно рассматриваться в контекстах взаимодействия различных традиций между собой.

Соответственно, первая часть данной работы (гл.I) посвящена наброску философско-методологической позиции Максвелла в ее сравнении с позициями его современников – от М. Фарадея до У. Томсона; вторая (гл.II - гл.IV) - рассмотрению того, как он эту позицию в своем творчестве отстаивал и реализовывал. Последняя, V глава, посвящена эмпирическому подтверждению теории Максвелла и той роли, которую сыграла в этом процессе кантианская эпистемология.

Несмотря на то, что переводы всех основных научных и научно-популярных статей Джеймса Максвелла, Уильяма Уэвелла, Германа

Гельмгольца и Генриха Герца в отечественной литературе уже имеются, автор данной работы иногда вынужден был, по вполне понятным соображениям, прибегать к самостоятельным переводам, о чем имеются прямые указания в тексте.

## ГЛАВА ПЕРВАЯ. Особенности максвелловской методологии конструирования синтетической глобальной теории.

*Максвелл был столь же крупным творцом в теории познания, как и в области теоретической физики.*

Людвиг Больцман

Непосредственными предшественниками Максвелла в деле создания теории электромагнетизма были *Ганс Христиан Эрстед* (1777 – 1851), *Андре-Мари Ампер* (1775-1836), *Майкл Фарадей* (1791-1867) и *Уильям Томсон* (1824-1907). Значительное влияние на разработку максвелловской методологии синтеза оказал также и кембриджский естествоиспытатель и философ науки *Уильям Уэвелл* (1794-1866). Сравнение их взглядов с максвелловскими позволяет более детально выявить особенности максвелловской методологии создания развитой научной теории.

Как известно, зимой 1819-1820гг., во время лекционной демонстрации в копенгагенском госуниверситете, Эрстед совершил выдающееся открытие, состоявшее в выявлении влияния электрического тока на направление находившейся рядом магнитной стрелки. Он показал, что повороты магнитной стрелки образуют круг вокруг «замыкающего провода». Из эксперимента следовало, что сила, действующая между магнитным полюсом и током, направлена не по соединяющей их прямой, а по *нормали* к ней, т.е. перпендикулярно. В конечном счете этот простой факт ставил под сомнение всю ньютоновскую систему мира.

Несмотря на уничижительные отзывы некоторых современников, открытие Эрстеда не было случайным; правда, именно это обстоятельство Эрстед и был вынужден доказывать всю жизнь. Так, в дальнейших своих комментариях он справедливо указывал на то, что еще в изданной им в Париже в 1813г. книге “*Recherches sur l’identite des forces chimique et electrique*” утверждалось, что «еще необходимо проверить оказывает ли

электричество в его наиболее латентном виде какое-либо действие на магнит как таковой». Даже в самых ранних своих трудах Эрстед предполагал, что магнетизм и электричество производятся одними и теми же силами. И эта точка зрения ни в коей мере не была новой. Она высказывалась и обсуждалась на протяжении более чем двух столетий, просто до Эрстеда никто не сумел ее наглядно продемонстрировать. При этом

«всякий, ознакомившийся с работами этого физика как относительно его собственных, так и предшествующих открытий, сразу увидит, что *опыты его скорее являлись следствиями его теорий*, чем наоборот. В его открытии случай, повидимому, играл весьма незначительную роль; он скорее затруднял его, ибо все было уже осмыслено и опыты продуманы *задолго до их осуществления*» (Фарадей, 1939, С.41).

Поэтому неслучайно, что, несмотря на то, что с начала XVIII в. кафедра физики в копенгагенском университете была ликвидирована « с той целью, чтобы усилить курс богословия», золотую медаль студент этого университета Г.Х. Эрстед получил за эссе «*Границы поэзии и прозы*», а степени доктора философии будущий классик естествознания все-таки удостоился за опубликованный труд «*Метафизические основы естествознания Канта*». Судя по всему, отход от ньютоновского механистического мировоззрения начался именно с Канта (подробнее см. Pearce Williams, 1965, 1966).

В своей работе 1786г. Иммануил Кант выдвинул такую динамическую теорию материи, в которой последняя рассматривалась как детерминируемая фундаментальными силами притяжения и отталкивания – в отличие от примитивной, твердой и непроницаемой материи Ньютона, - что сулило перспективу единого рассмотрения всех сил природы. Неслучайно именно кантовская динамическая теория материи послужила своеобразными пролегоменами и к натурфилософии Фридриха Шеллинга, и его ученика немецкого естествоиспытателя Риттера и самого Эрстеда.

Первоначальной мотивацией этого более широкого взгляда на вещи были новейшие открытия в электрохимии, интерпретируемые одним из философских наследников Канта – Шеллингом – как выражение *единства*



*магнитных, электрических и гальванических сил.* Судя по всему, открытие Эрстеда было бы невозможно без шеллинговской натурфилософии. Это Шеллинг научил Эрстеда задавать Природе правильные вопросы. С точки зрения Шеллинга, динамическая конституция материи образуется «из позитивной реальности силы расширения» (отталкивание) через «отрицательную реальность силы сжатия» (притяжение) вплоть до «ограничительного баланса двух этих сил в состоянии равновесия». Вызывающе анти-ньютоновскому подходу Шеллинга было чуждо разделение единого процесса взаимодействия между физическими телами на «материю» и «силы».

В полном соответствии с шеллинговской натурфилософией, Эрстед утверждал, что в природе нет ничего мертвого и застывшего, и что каждая вещь существует лишь как *развивающийся процесс*, являющийся частью более общего и развивающегося целого. Будучи сторонами развития единого первоначала, законы природы и законы разума в конечном счете совпадают. С одной стороны, чувствительная материя есть реализация инобытия абсолютного (рационального) духа; с другой стороны, рациональное начало – это кульминация бесконечного диалектического процесса, при помощи которого чувствительная материя осознает сама себя. Бытие и сознание тождественны. Все явления природы являются проявлениями единой бесконечной силы – силы раскрытия Божества. Впоследствии, как это будет показано ниже, следы этой причудливой онтологии можно отыскать и в творчестве Майкла Фарадея.

Как типичный математик, Андре-Мари Ампер не утруждал себя поисками новой физической онтологии, но зато он немало потрудился, совершенствуя и сравнивая между собой онтологии старые. 25 сентября 1820г., продолжая опыты Эрстеда, Ампер сообщил об открытии взаимного притяжения и отталкивания двух замыкающих проводов. Это открытие лишало явления магнетизма их обособленности, коренившейся якобы в существовании некоей магнитной субстанции, сосредоточенной в магните.

Опыты Ампера были продолжены в исследованиях Араго, который в 1824г. продемонстрировал, что «замыкающий провод батареи» притягивает железные опилки подобно тому, как это наблюдается в случае магнита. Ампера можно считать родоначальником **редукционистской исследовательской программы в электродинамике**: он все-таки нашел путь сведения эрстедовских круговых сил к обычным механическим центральным силам, изменяющимся по закону квадрата расстояния между силовыми центрами. Одним из элементов его позитивной эвристики было утверждение, согласно которому существуют молекулярные токи, представляющие собой токи электрические, циркулирующие внутри магнитных веществ. Этот аспект его позитивной эвристики сыграл немалую роль в перестройке «физической идеологии» (И.С. Шапиро) того времени. Магнитная субстанция в глазах общественного мнения перестала быть обязательной (Whittaker, 1910).

Незря Максвелл называл его «Ньютоном электричества». И Исаак Ньютон, и Андре-Мари Ампер полагали, что все фундаментальные взаимодействия в природе (гравитационные силы у Ньютона и электромагнитные – у Ампера) опосредованы такой промежуточной субстанцией как «эфир». Ампер рассматривал эфирную субстанцию как состоящую из комбинации позитивного и негативного электрического флюидов; при этом он весьма проникательно полагал, что такого рода эфир участвует в распространении как оптических, так и электрических (а следовательно - и магнитных), а также тепловых явлений.

Майкл Фарадей, не получив ни высшего, ни даже полноценного среднего образования (ушел из школы в девятилетнем возрасте из-за конфликта с учительницей), оставался до конца своих дней самоучкой, пытавшимся разобраться во всем (включая и сложнейшие метафизические вопросы) самостоятельно. Для его философских воззрений характерно гармоничное соединение истовой («сандаманианской») религиозности, являвшейся во многом наследием семейных традиций, с упорным скепсисом

«человека из народа», сына кузнеца по отношению к «господской культуре». В этом плане показательны его запутаннейшие отношения с покровителем – притеснителем, защитником-обидчиком сэром Гемфри Дэви и его амбициозной супругой, неоднократно пытавшейся превратить компаньона по путешествиям по западноевропейским странам в лакея. Или – скандальный спор с Волластоном по проблемам приоритета открытия явления электромагнитной индукции. Неслучайно

«философом должен быть человек, готовый выслушать любое предложение, но при этом судящий обо всем *своим умом*. Он не должен быть обманут поверхностными впечатлениями; у него не должно быть излюбленных гипотез; он не должен принадлежать ни к какой школе; и ни одна из доктрин не должна им руководить. Он должен преклоняться перед вещами, но не перед лицами. Только истина должна быть предметом его наивысшей заботы» (М.Фарадей; цит по: Dr. Vence Jones, 1870, p.220).

Будучи сотворенной одним Создателем, Природа является единым целым. В ней все взаимосвязано. Относительно действующих в природе сил мы можем сказать, что все они переходят друг в друга, но ни одна не является конечной причиной других. В конце концов, «наши разногласия – лишь споры о словах, поскольку природа всегда одна и та же» (цит. по : Dr. Vence Jones, 1870, p.310). Лекции для юношества, прочитанные в 1835г., Фарадей закончил констатацией того, что

«мы ничего не знаем о природе электричества – является ли оно материей, силой, вибрацией или еще чем-то другим» (цит. по : Dr. Vence Jones, 1870, vol.2, p.69).

Поэтому Фарадей с нескрываемым скепсисом относился к атомной гипотезе, утверждая, что мы ничего не знаем о материи за пределами ее сил; наши непосредственные ощущения ничего о ней не говорят. Открытие Фарадеем связи света с магнетизмом (1845) привело к написанию им небольшой, но исключительно плодотворной для дальнейшего развития физики работы под названием «*Размышления о вибрациях световых лучей*» (Фарадей, 1846), на которую неоднократно ссылался Максвелл. Понятно

почему : в этой работе содержится набросок электромагнитной теории света.

Рассматривая природу весоных тел, Фарадей приходит к выводу о том, что каждый атом является не чем иным как полем сил – электрических, магнитных и гравитационных – которые окружают точечный центр. Все пространство вокруг такого атома оказывается пронизанным силовыми линиями. А свет и тепловое излучение представляют собой поперечные колебания распространяющиеся вдоль световых линий. И если даже мы допустим существование светоносного эфира, то должны признать, что он является проводником магнитных сил. Как Фарадей писал в 1851г., «весьма вероятно, что уж если эфир и существует, то он должен иметь и другие применения чем простая передача излучения». Также важно для нашего изложения утверждение одного из биографов Фарадея – доктора Бенса Джонса - о том, что (в одной из своих записных книжек) Фарадей высказал предположение о том, что скорость распространения магнитных взаимодействий - по порядку величины совпадает со скоростью света.

Точка зрения Фарадея – это точка зрения хорватского иезуита о. Роджера Бошковича (1711-1787) : атомы – это материальные точки, т.н. «центры сил». С этой точки зрения, Лейбниц был прав, утверждая, что силы более фундаментальны, чем материя. Поэтому в конце традиционной пятничной лекции в Королевском Институте Фарадей

«высказал спекулятивное утверждение, которое он долго вынашивал в себе, но которое все крепло в его сознании, что возможно все те вибрации, при помощи которых такие излучения как свет и тепло передают свои силы в окружающем пространстве, - это колебания не эфира, а силовых линий, которые соединяют друг с другом наиболее отдаленные части материи... таким образом, я намереваюсь *низложить эфир*» (цит. по : Dr. Vence Jones, 1870, p.227).

Таким образом, согласно Фарадею, эфир не существует; существуют только гравитационные, электрические и магнитные силовые линии, пронизывающие пустое пространство. Свет - поперечные колебания световых линий.

Поэтому часто встречающиеся утверждения о том, что с самого начала исследования Фарадея противопоставлялись им немецким и французским теориям «действия на расстоянии» во многом основаны на недоразумении. На самом деле Фарадей рассматривал взаимодействие посредством силовых линий как прямое *действие на расстоянии*, поскольку **в передаче сил от одной точки к другой никакая материя не участвовала**. Действительно, в этом случае эта передача сил занимала некоторое время, но отнюдь не из-за какого-то промежуточного вещества или эфира. Причиной запаздывания была физическая природа силовых линий. В итоге, фарадеевское понятие силовых линий изменило традиционную дихотомию между прямым действием и действием, опосредованным веществом (Darrigol, 2001).

Недаром во введении к своему шедевру – «*Динамической теории электромагнитного поля*» (1864), в котором он получил, наконец, свои уравнения математически безукоризненным способом, во многом свободным от сомнительных «модельных» допущений, Максвелл подчеркивает:

«Концепция распространения поперечных магнитных возмущений с исключением продольных определенно проводится проф. Фарадеем в его «*Мыслях о лучевых вибрациях*» (Phil.Mag., май 1846). Электромагнитная теория света в том виде, в каком она предложена им, является такой же по существу, как и та, которую я развиваю в настоящем докладе, за исключением того, что в 1846г. не имелось данных для расчета скорости распространения» (Максвелл, [1846], 1953, С.263).

Тяжеловесный фарадеевский аппарат «силовых линий» и /или соответствующих «напряжений и натяжений в эфире» представлялся большинству его современников зыбким и неуклюжим, особенно в сравнении с точными и математически элегантными теориями действия на расстоянии. Поэтому теория поля развивалась весьма слабо и медленно до тех пор, пока в середине 1840-х гг. в игру не вступил Уильям Томсон. Именно Томсону принадлежала ключевая идея об аналогии между электромагнитными процессами и гидродинамическими явлениями. В частности, т.н. «эффект Фарадея» (1845) – вращение плоскости поляризации

света в сильном магнитном поле – Томсон объяснил исходя из предположения, что магнитное поле заполнено крошечными «молекулярными вихрями», вращающимися вдоль силовых линий. Эти крошечные вихри могли отдавать часть своей вращательной энергии световым волнам.

Друг и наставник шотландца Джеймса Максвелла – ирландец Уильям Томсон – был старше его на 9 лет. Томсон уже при жизни добился всех возможных чинов и званий и был за свои заслуги перед наукой удостоен звания лорда (лорд Кельвин). Он и при жизни считался, и до сих пор считается патриархом классической (викторианской) физики XIX в. Его ультра-механистическое мировоззрение слишком хорошо известно для того, чтобы нуждаться в комментариях. *Томсоновский подход значительно отличался от фарадеевского, поскольку Томсон истово верил в механический эфир*, в котором фарадеевские силовые линии представляли собой натяжения и напряжения этой механической среды. Томсону принадлежит следующий знаменитый девиз :

«я никогда не буду удовлетворен познанием какой-либо вещи до тех пор, пока не создам ее механическую модель. Если я могу сделать механическую модель, я могу это понять. Если я не могу создать механическую модель явления, я его не понимаю; вот почему я не могу принять электромагнитную теорию».

Другое его высказывание (обращение к членам британской ассоциации по содействию развитию науки, 1900) не менее известно: «сейчас в физике больше нечего открывать. Все, что нам осталось – проводить все более и более точные измерения».

В авторитетной энциклопедии классической физики – «*Трактате о Натуральной Философии*» (1882), написанной вместе с другим другом и коллегой Максвелла – шотландцем Питером Тэтом – глава «Динамические законы и принципы» начинается с утверждения о том, что

«мы не можем в самом начале изложения выбрать лучший путь, чем возможно более тщательное следование Ньютону. В самом деле, введение в «Математические начала натуральной философии» содержит в предельно ясном виде общие основания Динамики. Изложенные там и относящиеся к движению дефиниции и аксиомы требуют только небольших разъяснений и дополнительных иллюстраций, предложенных последующими достижениями, для того, чтобы привести их в соответствие с современными достижениями науки; мы получим тем самым гораздо более совершенное введение в динамику, чем даже некоторые самые лучшие современные трактаты» (Томсон и Тэт, 1882, p.219).

Неслучайно, что когда Максвелл писал рецензию на фундаментальный труд своих друзей, результаты которого он плодотворно использовал в своих работах (см., например, IV главу данной работы), он все же вынужден был подвергнуть критике, как чрезмерно вульгарно-материалистическое, их определение массы. Он отмечал, с высоты своего кантовского априоризма, что «материя никогда не воспринимается чувствами непосредственно» (Mahon, 2003, p.25).

Согласно Максвеллу, материя как субстанциональное вещество как раз и была тем «неизвестным субстратом, против которого Беркли направлял свои критические аргументы». В этом смысле материя – это предполагаемая *возможность* наших ощущений, но как «вещь в себе» она непознаваема. Как теоретическое понятие, материя аналогична такому математическому идеальному объекту, как «прямая линия» (Morrison, 2000, p.101).

Именно своему старшему товарищу и наставнику Уильяму Томсону юный Максвелл, только что окончивший кембриджский университет, сообщил в письме в феврале 1854г. о своих намерениях «атаковать электрическую науку». Томсон возглавил гонку по созданию механических моделей эфира, опубликовав в 1846г. классическую работу, в которой выявлялась аналогия между электрическими явлениями и эластичностью упругой среды, заполнявшей все пространство. Для этого он исследовал состояние равновесия в несжимаемом эластичном твердом веществе и показал, что распределение в пространстве вектора, описывающего

эластические смещения, похоже на распределение электрической силы в электростатической системе.

Но было одно радикальнейшее отличие подходов Максвелла и Томсона к механическим моделям эфира. Томсон понимал эти модели *буквально*: как описание того, что **в действительности** происходит в пространстве. Поэтому, в частности, он никогда и не принял максвелловское понятие тока смещения. (Это, впрочем, никак его не умаляет, поскольку даже Гельмгольц признал это понятие через много лет после максвелловской статьи 1861г.). В частности, в 1888г. Томсон охарактеризовал ток смещения как «любопытную и изобретательную, но в целом несостоятельную гипотезу».

А в 1905г. лорд Кельвин опубликовал статью, в которой подвел печальный итог попыткам построить вихревую модель эфира.

«Теперь мне ясно, что любое движение в конечной области бесконечной несжимаемой жидкости рано или поздно должно закончиться диссипацией... После многолетних неудач в доказательстве стабильности гельмгольца круглого кольца, я пришел к выводу о том, что оно существенно нестабильно, и его судьба – рассеяться в окружающем пространстве» (Thomson, 1905, p.565).

Мировоззрение Максвелла резко отличается от взглядов упомянутых выше исследователей прежде всего *несопоставимо более высоким уровнем философской культуры*, подчеркнутой ориентацией на взгляды Канта критического периода. Несомненно, что его источником были лекции по философии, читавшиеся ведущим шотландским философом того времени, заведующим кафедрой моральной философии эдинбургского университета сэром Уильямом Гамильтоном (1788 – 1856). Гамильтон был одним из представителей шотландской философии «здравого смысла», наследником традиции Томаса Рида и Дугалда Стюарта. Но его «философия обусловленного» носила явно кантианский оттенок.

Подобно Канту, он полагал, что мы можем обладать достоверным знанием только об «относительных проявлениях вещей, и именно наша глубочайшая мудрость состоит в признании того, что сами эти вещи



находятся за пределами достижимости философии». Но, в отличие от Канта, он развивал основные положения «естественного реализма» в традициях школы Томаса Рида. При этом многие его критики – и в частности Джон Стюарт Милль, посвятивший его философии целую книгу, - полагали, что *гамильтоновский релятивизм плохо согласуется с ридовским реализмом*. Но для Гамильтона согласование этих действительно значительно отличающихся друг от друга позиций было возможно на основе некоей разновидности интуиционизма, выделяющего определенные состояния сознания как одновременно примитивные и лежащие вне сферы понимания, «являющиеся в меньшей мере когнитивными актами чем верованиями» (цит. по: Audi, 1999, p.360).

Основы шотландской философии здравого смысла была заложены преподобным Томасом Ридом (1710-1796) в конце XVIII в. Ее исток – жесткая критика скептицизма другого шотландского философа – Давида Юма (1711-1776), автора *«Трактата о человеческом познании»* (3тт., 1739-1740). Концентрируясь на анализе «восприятий» - тех объектов, которые непосредственно присутствуют в сознании, Юм подразделял их на две группы – *«впечатления»* и *«идеи»*. Суть его концепции состояла в утверждении о том, что впечатления (которые также в свою очередь подразделяются на элементы чувственного и рефлексивного порядков) гораздо сильнее и «живее» идей; идеи всегда каузально зависят от впечатлений.

Именно против этого положения и следовавших из него скептических выводов и была направлена критика Рида. В главном труде *«Исследование человеческого сознания, исходящее из принципов здравого смысла»* (1764) он усматривал истоки юмовского скептицизма в тезисе Декарта, разделявшимся также и Джоном Локком, согласно которому мы не воспринимаем объекты внешнего мира непосредственно; непосредственный объект восприятия всегда находится в сознании. Против этой точки зрения он выдвигал возражение, согласно которому восприятие включает как ощущения, так и

некоторые **интуитивные** общие истины или принципы, дающие вместе знание объектов внешнего мира. Он также настаивал на том, что существуют также и другие данные нам интуитивно общие принципы, включающие моральные принципы, доступные всем людям. В итоге он заключал, что если какие-либо философские аргументы ведут к следствиям, которые противоречат здравому смыслу, то тем хуже для аргументов.

Согласно Риду, юмовские умозаключения абсурдны потому, что они противоречат утверждениям о существовании как нашего тела, так и нашего сознания. Источник этого ошибочного вывода – юмовский тезис о том, что идеи – это «выцветшие впечатления ощущений». Ощущения – это не свойства материальных вещей, и тем более не сами вещи.

Отрицая юмовский скептицизм, Гамильтон колебался между релятивизмом Канта и реализмом Рида, и именно это обстоятельство и отметил Максвелл в качестве основного пункта своей собственной метафизической программы - **«прочтение кантовской “Критики чистого разума” под углом согласования ее с сэром Уильямом Гамильтоном»**. Более подробное изложение основных пунктов этой программы дают две философские в своей основе работы Максвелла – эссе *«Об аналогиях»*, прочитанное на заседании кембриджского «Клуба Апостолов» в 1856г., после публикации самой фундаментальной в мировоззренческом и методологическом отношении статьи Максвелла *«О фарадеевских линиях сил»* (1855-1856) и гораздо более поздняя статья *«Гельмгольц»*.

Эпистемология Максвелла исходит из Канта, согласно которому

«непонятно, каким образом созерцание присутствующей вещи позволяет мне познать, какова она сама по себе: не могут же ее свойства переселиться в мою способность представления» (Кант, [1783], 2006, С.171).

На самом деле нам действительно даны вещи как вне нас находящиеся предметы наших чувств. Но о том, каковы они сами по себе, мы ничего не знаем, а «знаем только их явления, т.е. представления, которые они в нас производят, воздействуя на наши чувства» (там же, С.177).

Опыт хотя и учит меня тому, *что* существует и *как* оно существует, никогда не научает тому, что это *необходимо*, должно быть так, а не иначе; опыт никогда не даст познания вещей самих по себе. Тем не менее мы «действительно обладаем чистым естествознанием», поскольку среди положений общей физики есть такие, которые обладают требуемой всеобщностью :

- субстанция сохраняется и постоянна;

- все, что происходит, всегда заранее определено некоторой причиной по постоянным законам и т.д.

Указанные основоположения относятся не прямо к явлениям и связи между ними, а к *возможности* опыта, для которого явления составляют только материю, а не форму. Явления как одни лишь созерцания, занимающие часть пространства и времени, подпадают под понятия величины, соединяющее их многообразие (содержание) синтетически а priori по правилам. Поскольку восприятие содержит, кроме созерцания, также и ощущение, между которым и нулем, т.е. полным его исчезновением, всегда имеет место переход путем уменьшения, то **реальное в явлении должно иметь степень**. Хотя ощущение как качество эмпирического созерцания никогда нельзя познать а priori, однако как величину восприятия его можно отличить по степени в возможном опыте от всякого другого однородного ощущения. *Именно это делает возможным и определяет применение математики к природе.*

Суть «коперниканской революции», которую только начал (но не завершил) в эпистемологии Кант, состоит в том, что **мир повседневного, обычного опыта** («жизненный мир», lebenswelt, как скажет впоследствии Э. Гуссерль), **утрачивал право быть исходной точкой отсчета в истолковании чувственно-воспринимаемых вещей**. У Канта мир привычного опыта заменяется галилеевской экспериментально-математической физикой, в основе которой лежит идеализация, абстрагирование от «жизненного мира». Поэтому истина уже не есть нечто

непосредственное, себя являемое и раскрываемое, но результат постижения с помощью определенного метода.

С другой стороны, коль скоро истина постигается в опыте, и мы познаем не столько вещи сами по себе, сколько феномены, необходимо отказаться от допущения реализуемой возможности абсолютного знания. «Являемость вещей в опыте» заключает в себе истинно-сущностный характер (подробнее см. : Сергеев, 2006, С.101). *Феномены не есть просто сущностные явления, сквозь которые проглядывает так или иначе замутненная сущность; они есть прежде всего сущее в своем собственном состоянии.* Феномены человеческого опыта заключают в себе всю полноту постигаемой достоверности.

Особое место в процессе познания занимают т.н. «**анalogии опыта**». Они, согласно Канту, в отличие от основоположений о применении математики к естествознанию, касаются не порождения созерцаний, а *связи* их существования в опыте, не синтетического единства в связи вещей самих по себе, но лишь восприятий.

«...Познание по аналогии... не означает, как обычно понимают это слово, несовершенного сходства двух вещей, а *означает совершенно сходство двух отношений между совершенно несходными вещами.* Так, можно провести аналогию между правовым отношением человеческих поступков и механическим отношением движущих сил; я никогда не могу сделать что-то другому, не предоставив ему права сделать мне при тех же условиях то же самое, точно так же как ни одно тело не может действовать своей движущей силой на другое тело, не вызывая при этом его противодействия. Здесь право и движущая сила – вещи совершенно несходные, но их отношения совершенно сходны между собой» (Кант, [1783], 2006, С.236-237).

Более детально, в «Критике чистого разума», рассматривая три аналогии опыта, которые суть не что иное, как принципы определения существований во времени согласно всем трем его модусам, Кант отмечает, что если понятие предшествует восприятию, то это означает лишь

*возможность* его, и только восприятие, дающее материал для понятия, есть единственный признак действительности.

«Однако если вещь находится в связи с некоторыми восприятиями согласно принципам их эмпирического связывания (согласно аналогиям [опыта]), то существование ее можно познать также и до восприятия ее, стало быть, до некоторой степени a priori. В этом случае существование вещи все же связано с нашими восприятиями в возможном опыте, и мы можем прийти от своих действительных восприятий до вещи через ряд возможных восприятий, руководствуясь упомянутыми аналогиями [опыта]. Так, воспринимая притягиваемые железные опилки, мы познаем существование проникающей все тела магнитной материи, хотя непосредственное восприятие этого вещества для нас из-за устройства наших органов невозможно» (Кант [1887], С.222).

Для нашего изложения важно то, что даже **пример работы принципов аналогии в научном познании Кант приводит из области магнитных явлений, как бы прямо указывая дорогу Максвеллу.** Последний неоднократно подчеркивал, что вещи, которые мы можем измерить непосредственно – скажем, разнообразные механические силы, - являются лишь внешними проявлениями тех более глубоких процессов (скажем, напряженности электромагнитного поля), которые лежат за пределами достижимости нашей способности к созданию зрительных образов (Mahon, 2003). И главная философская статья Максвелла – эссе *«Существуют ли действительные аналогии в природе?»*, написанное в 1856г. - «вышла» из *«Критики чистого разума»*. И не только это философское эссе. Влияние Канта ощущается и в конкретно-научных произведениях Максвелла. Так, в максвелловской книге *«Материя и движение»* (1876) утверждается, что

«механические науки рассматривают движение материи просто как материи, и основаны на фундаментальных идеях силы и массы без какой-либо апелляции к экспериментальным измерениям» (цит. по Campbell&Garnett, 1882, p.421).

Эссе *«Существуют ли действительные аналогии в природе?»* представляет собой переключку с теми частями творчества Канта, которые посвящены аналогиям. Но это - не ученическое воспроизведение *«Критики*

*чистого разума»* и разъясняющих ее основные положения *«Прологомен»*, а напряженный спор Максвелла с *«Кантом в самом себе»*. Не случайно сам заголовок статьи сформулирован не в виде утверждения, а в виде вопроса: *«Существуют ли действительные аналогии в природе?»*

В самом деле,

*«должны ли мы заключить, что все различные области природы, в которых существуют аналогичные законы, действительно связаны друг с другом; или же, что подобное их соотношение – лишь кажимость, обязанная своим существованием необходимым условиям (курсив мой – РМН) человеческого разума?»*

– Максвелл не дает однозначного ответа на сформулированный в заголовке эссе вопрос, приводя аргументы как *pro*, так и *contra* – в полном соответствии с кантовскими антиномиями, которые, как известно, возникают при попытках разума выйти за пределы опыта.

Действительно, с одной стороны,

*«касательно пространства и времени, любой Вам скажет, что сейчас ‘твердо установлено и общепризнано, что они – лишь модификации состояний нашего сознания’. У нас нет никаких оснований полагать, на основании данной в нашем сознании смены обычных ощущений, что отличия в положениях, также как в порядках возникновения, существуют среди причин этих ощущений»* (цит. по : Campbell & Garrett, 1882, p. 121).

- С другой стороны, все мы убеждены в том, что разные объекты сосуществуют в один и тот же момент времени, а также в том, что один и тот же объект существует в разные моменты времени.

*«Когда мы утверждаем, что пространство трехмерно, мы не только выражаем тем самым невозможность представления четвертого измерения, но утверждаем объективную истину, согласно которой точки пространства могут отличаться друг от друга за счет независимого изменения трех переменных. Поэтому в данном случае мы имеем реальную аналогию между устройством интеллекта и внешним миром»* (цит. по: Campbell & Garnett, 1882, p.121).

Далее, с одной стороны, мы видим в расходящемся веере физических следствий какого-либо события не только способность образования его

истинного образа, но также его обратного влияния на агента, или непосредственно или через промежуточные инстанции, так что похоже мы схватили идею необходимого возмездия как легитимного следствия всех моральных поступков.

- С другой стороны, эта идея необходимого реагирования следствия поступка выведена только из небольшого количества случаев, для которых мы угадали подобный закон среди необходимых законов Вселенной. Но у нас есть идея *справедливости*, гораздо более отчетливая и ясная, выведенная из тех законов, которые мы с необходимостью рассматриваем как высшие. Так что идею возмездия мы в большей мере связываем с идеей справедливости, чем с идеей причины и следствия.

Более того, с одной стороны, явления природы, будучи различными изменениями движения, могут отличаться друг от друга только по сложности. Поэтому единственный путь изучения природы – сначала выработать простые фундаментальные законы движения, а уже затем проверить, насколько эти законы должны быть усложнены для того, чтобы получить истинные картины Вселенной. Если этот подход правилен, то мы должны искать следы этих фундаментальных законов во всех разделах науки, и не в последнюю очередь среди тех продуктов органической жизни, которые являются результатами церебрации (обычно называемой «мышлением»). В этом случае, само собой разумеется, что сходства между законами различных классов явлений едва ли можно назвать аналогиями, поскольку это – всего лишь преобразованные идентичности.

Но если же, с другой стороны,

«мы начнем с изучения законов мышления (абстрактных законов, а не физиологических законов логики), то эти явные аналогии станут всего лишь повторениями определенных необходимых моделей действия, к которым склонны наши сознания» (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p.123).

Конечно же, это мышление в кантовских антиномиях неслучайно. Мы уже отмечали, что еще только приступая к занятиям в Кембридже и намечая как всегда обширную программу будущих исследований, Максвелл под пунктом 4 наметил «переработку системы Канта под углом зрения философии Уильяма Гамильтона». Учитывая то, что философия последнего создавалась в рамках шотландской философии здравого смысла, основанной на ридовском реализме, можно заключить, что Максвелл, как всегда, намеревался найти *свой собственный путь* - на этот раз между Сциллой кантовского априоризма и Харибдой шотландского реализма, основанного на здравом смысле. Эта попытка тем более казалась возможной в силу того, что оба направления исходили из жесткой критики скептицизма Давида Юма.

Для шотландской школы характерно принятие следующих положений (подробнее см. : Mertz, 1964; Olson, 1975).

(1) Все наши знания *относительно истинны*.

(2) Среди всех наших относительных знаний *аналогии и модели* занимают особое место.

(3) Это место аналогии и модели занимают по *психологическим* причинам. Для большинства исследователей понимание явлений природы требует использование моделей для «упрощения и организации знания».

Вообще для всей шотландской традиции характерны сильные *психологические* тенденции, которые в принципе допускают совмещение с логико-аналитическими традициями кантианства, что и имело место в случае максвелловской методологии.

Влияние шотландской философской традиции на кантианца Максвелла может быть четче выделено и точнее оценено при сопоставлении со взглядами другого кантианца, на которого работы шотландцев не оказали столь значительного влияния. Этим мыслителем, с которым Максвелл не мог не соразмерять свои работы, был ректор того кембриджского колледжа, который Максвелл закончил и в котором учился в аспирантуре. Речь идет о ректоре Тринити Колледжа Уильяме Уэвелле (1794-1866), английском



ученом-энциклопедисте, физике и философе, консультанте Майкла Фарадея и Чарлза Дарвина, авторе классических монографий «*История индуктивных наук*» (1840) и «*Философия индуктивных наук*» (1847).

Несмотря на то, что Уильям Уэвелл по праву считается кантианцем, он по многим вопросам занимал по отношению к Канту независимую позицию, отмежевываясь от крайностей немецкого идеализма, как, впрочем, и от ультра-эмпиризма его британских оппонентов, включая Джона Стюарта Милля. (Неслучайно в XXв. интерес к творчеству Уэвелла возрос после разочарования в логическом эмпиризме).

В основе эпистемологии Уэвелла лежит утверждение о том, что все человеческое знание обладает двумя измерениями – «*субъективным*» и «*объективным*». В этом состоит «*фундаментальная противоположность*» (Fundamental Antithesis) всей философии: «*в каждом акте знания ... имеются два противоположных элемента, которые мы может называть *Идеями* и *Восприятиями*» (Whewell, 1847, том 1, р. 17). Мы видим, слышим и трогаем внешние вещи, но воспринимая их нашими органами чувств, мы связываем наши впечатления в соответствии с *Идеями* пространства, времени, числа, причины и т.д. При этом не только «*каждое из этих измерений находится в конфликте с другим; но каждое **изменяет и формирует** другое*» (Whewell, 1847, vol.1, р.XI).*

Таким образом, в процессе совершенствования процесса познания человеком мира две исходные противоположности постоянно взаимодействуют друг с другом. Поэтому, с одной стороны, «*прогресс науки состоит в аккумуляции и комбинации фактов*» (Whewell, 1847, vol.2,р.22), а с другой – «*мы устанавливаем точные связи между явлениями, данными нам в опыте; знание этих связей, накопленное и систематизированное, и есть Наука*» (Whewell, 1847, vol.2, р.36).

К проявлениям фундаментальной противоположности, получившей «*большую известность в работах современных германских философов*», относятся и противоположности между *Необходимой* и *Экспериментальной*

Истинами, между Дедукцией и Индукцией, а также между Теорией и Фактом.

Уэвелл подвергает обоснованной критике Канта и всех немецких идеалистов (Фихте, Шеллинга и Гегеля) за чрезмерное выпячивание значения идеальной или субъективной компоненты, а Локка и все сенсуалистское направление – за преувеличение эмпирической, объективной компоненты. Подобно своему предшественнику по Тринити Колледжу – Фрэнсису Бэкону – Уэвелл выбирает «третий», промежуточный путь между Сциллой чистого рационализма и Харибдой ультра-эмпиризма. Как мы покажем в дальнейшем, это стремление к нахождению разумных компромиссов между крайними позициями будет характерно и для Максвелла.

Содержание рациональной компоненты знания – т.е. «Фундаментальных Идей» - обеспечивается разумом самим по себе; Фундаментальные Идеи не формируются в процессе наблюдения внешнего мира. Поэтому человеческий разум является **активным** участником процесса познания, но отнюдь не **пассивным созерцателем** показаний наших органов чувств. В дальнейшем мы покажем, что этот тезис об активной роли человеческого разума в процессе познания будет положен Максвеллом в основу собственной методологии. Такие идеи как Пространство, Время, Причина и Сходство функционируют в качестве структур или форм, упорядочивающих многообразие данных опыта. Фундаментальные Идеи – это структуры, отражающие общие отношения между нашими ощущениями (1847, vol. 1, p.25).

Каждое наблюдение **«идейно нагружено»**: оно включает «бессознательный вывод», использующий Фундаментальные Идеи. В основе каждой естественной науки лежит своя собственная Фундаментальная Идея, необходимая для организации фактов из ее области. В частности, идея Пространства лежит в основании геометрии, Причины – в основании механики, и т.д. При этом каждая Фундаментальная Идея содержит в себе

вспомогательные идеи более мелкого калибра (т.н. «концепции»), предназначенные для применения к частным случаям. Например, Идея Силы является модификацией Идеи Причины, примененной к частному случаю механического перемещения. Эти Концепции содержат в себе определенные необходимые и универсальные отношения, выведенные из Идей.

При помощи зрения мы видим перед собой тени, цвета и формы, но сами разграничительные линии, посредством которых они разделяются на отчетливые объекты определенной формы, являются результатом деятельности самого нашего сознания. Когда мы видим движущееся тело, мы видим его движущимся по определенному пути или орбите, но сама эта орбита не видится, а конструируется нашим сознанием. Аналогично, когда мы видим движение иголки по отношению к магниту, мы не видим само притяжение, саму силу, которая производит это явление. Но мы приходим к существованию силы за счет того, что в нашем сознании имеется идея причины.

Тем не менее, **уэвелловские Фундаментальные Идеи не тождественны кантовским априорным формам созерцания.** Уэвелл не следовал Канту в различении априорных форм созерцания – Пространства и Времени – и априорных форм рассудка, подобных Причине и Субстанции. Более того, Уэвелл включал в систему Фундаментальных Идей также те идеи, которые отнюдь не функционировали как условия возможного опыта. И, конечно же, Уэвелл, в отличие от Канта, не составлял и не придерживался списка основных априорных категорий, поскольку он весьма здраво полагал, что многие категории нам еще не известны. Несмотря на то, что в зародышевом виде они уже сейчас содержатся в наших сознаниях, в эксплицитном виде они еще только «всплывут» в сознаниях естествоиспытателей в ходе будущего развития науки.

Но **онтологическая** интерпретация Фундаментальных Идей резко противопоставила Уэвелла не только Канту, но и всей шотландской школе - и Максвеллу в том числе. Согласно Уэвеллу, Фундаментальные Идеи точно

отражают независимые от сознания объективные черты процессов и явлений действительности. И по следующей причине – они изначально существуют в голове Создателя (Whewell, 1860). Господь создал Вселенную в соответствии с определенными Божественными Идеями. Мы же способны познать ее потому, что Фундаментальные Идеи, которые мы используем для организации нашего знания, похожи на Божественные Идеи. И это не случайно; Господь, создавая наши сознания, вложил в них те же самые идеи (точнее, зародыши этих идей). Именно в этом пункте взгляды Максвелла и всей шотландской школы **резко отличаются** от взглядов Уэвелла. Согласно Уэвеллу, связи ощущений в нашем сознании объективны и однозначны, поскольку определяются в конечном счете Божественными Идеями. Согласно шотландцам, они психологичны, субъективны, будучи свободным порождением человеческого разума. Вот почему одна и та же совокупность ощущений может быть описана разными способами в зависимости от того, какой способ для нас **удобен**.

Значительный интерес представляет полемика Уэвелла с теми представителями шотландской философии, которые оказали значительное влияние на Максвелла, – и , прежде всего, с Дугалом Стюартом и Уильямом Гамильтоном. Согласно шотландским философам, причина и следствие соединены в наших сознаниях связями, определяемыми нашей природой. Но такой подход предполагает, что закон может отсутствовать, но при этом причина и следствие могут существовать независимо друг от друга.

Подобное, «психологическое» понимание соотношения причины и следствия плохо согласуется с идеями Канта, согласно которому и причинами, и следствие являются условиями познания нами процессов и явлений действительности. Мы в принципе не можем и помыслить какой-либо последовательности событий вне понятий причины и следствия.

«Шотландские метафизики признают только универсальность этого отношения; немецкие же пытаются пойти дальше и объяснить их необходимость» (Whewell 1847, vol.1, p.174).

Но особый интерес для понимания максвелловской методологии представляют воззрения Уэвелла на индукцию. В индукции

«существует *Новый Элемент* прибавляемый к комбинации рассматриваемых случаев самим актом мышления, при помощи которого они соединяются. Существует Концепция разума, введенная в общее положение, которая не существовала ни в одном из наблюдаемых фактов» (Whewell, 1847, том 2, p.48).

Этот элемент – **коллигация** (colligation) или «обобщение». Коллигация – это ментальная операция сведения воедино определенного количества эмпирических фактов за счет привнесения (superinducing) к ним концепции, которая **объединяет** эти факты и превращает их в способные быть выраженными общим законом.

«Таким образом, в каждом выводе, сделанном при помощи индукции, вводится некая Общая Концепция, которая дается не явлениями, а разумом» (Whewell 1847, vol.2,p.49).

Например, когда в Древней Греции исследователи после долгих наблюдений планет пришли к выводу, что их движения могут быть правильно рассмотрены как созданные движением одного колеса, вращающегося внутри другого, то все эти колеса были порождениями их умов, добавленными к фактам, которые они получили при помощи органов чувств. Или (в любимом уэвелловском примере) известные точки орбиты планеты Марс были «сколлигированы» Кеплером при помощи концепции эллипса. Поэтому новые открытия совершаются не тогда, когда открываются новые факты, но когда к уже известным фактам применяется соответствующая им (appropriate) концепция.

«Идеи, или по крайней мере их зародыши (germs) , находились в человеческом разуме до опыта; но благодаря прогрессу человеческой мысли они разворачиваются в ясность и отчетливость» (Whewell, 1847, p.373).

Поэтому история научных идей – это история их уточнения и соответствующего использования в качестве коллигирующих понятий. С нашей точки зрения, именно метод коллигации был использован Максвеллом

при выводе его модифицированного закона Ампера для открытых токов.

До индукции все факты известны, но они разрознены и не связаны друг с другом, пока исследователь не достанет из своих запасов «Принцип Связи».

«Для того, чтобы получить наш вывод, мы должны выйти за пределы тех случаев, которые перед нами имеются; мы рассматриваем их как простые примеры некоего Идеального Случая, в котором все отношения полны и понимаемы. Мы берем Стандарт, и измеряем им факты; и этот стандарт **конструируется нами**, а не предоставлен нам Природой» (Whewell 1847, vol.2,p.49).

Например, мы наблюдаем различные тела, сталкивающиеся друг с другом, движущиеся и останавливающиеся, ускоряющие и замедляющие движения друг друга. Но во всех этих случаях мы не воспринимаем посредством наших органов чувств такую абстрактную величину как Импульс. Последний или теряется одним телом, или приобретается другим. Этот Импульс – порождение нашего разума, внесенный в изучение фактов для того, чтобы привести все их видимые механические перемещения в порядок.

При этом Уэвелл постоянно подчеркивал, что выбор «подходящей концепции» (appropriate conception) не является ни результатом простого угадывания, ни итогом простого наблюдения, но - «выведения» (inference). Им выделяются три типа выведения: перечисление, элиминация и **аналогия**. Только после этого можно приступить к простой индукции, т.е. к обобщению найденного при помощи коллигации свойства на определенный класс явлений, включая еще не известные члены. Например, из высказывания «все планеты движутся по эллипсам» следует, что по эллипсам движутся не только все известные планеты солнечной системы, но также и те, которые еще не найдены (так была открыта, например, планета Нептун).

С нашей точки зрения, именно найденная Томсоном аналогия между гидродинамикой и электрическими процессами была применена Максвеллом для коллигации уравнений электромагнетизма из эмпирических и

теоретических схем Ампера, Био, Савара и др.

Важно подчеркнуть, что метод Уэвелла не может быть охарактеризован как «гипотетико-дедуктивный». Тем не менее уэвелловская индукция отличается и от более поверхностного варианта Д.С. Милля. Она обладает тем преимуществом, что позволяет выводить **ненаблюдаемые** свойства и сущности (Snyder 2012).

После того, как теория в процессе уэвелловской «индукции» была изобретена, она должна пройти три основные стадии тестирования, прежде чем она приобретет статус эмпирически подтвержденной. Эти тесты – (1) предсказание, (2) совпадение (*consilience*) и (3) согласованность (*coherence*).

В самом деле.

(1) Если бы теория Ньютона не была истинной, то факт, что в этой теории мы можем правильно предсказывать существование, положение и массу новой планеты (Нептун, 1846), стал бы чрезвычайно загадочным.

(2) «Свидетельства в пользу нашей индукции становятся гораздо более сильными, когда она позволяет определить и объяснить случаи, *качественно* отличающиеся от тех, которые участвовали в выдвижении нашей гипотезы» (1858 в, pp. 87-88). Такие случаи Уэвелл называл «совпадением индукций» (*consilience of inductions*). Уэвелл подчеркивал, что совпадение типов событий ведет к объединению их причин при помощи более общей, истинной (*vera causa*) причины.

«То, что законы, возникающие в отдаленных и не связанных друг с другом областях, стремятся сойтись друг с другом в одной и той же точке, может происходить только из того, что в этой точке пребывает истина» (Whewell 1847, vol.2, p.65).

Например, оказалось, что закон всемирного тяготения, выведенный из изучения возмущений Луны, и планет, и Солнца, также действует и при описании факта т.н. «прецессии эквиноксов». Поэтому Ньютон не только открыл закон тяготения, но и обнаружил его причину. Но

«во всей истории науки мы не найдем ни одного случая, насколько мне известно, в котором Совпадение Индукций подтверждало бы гипотезу, которая впоследствии оказалось бы ложной» (Whewell 1847, vol.2, p. 67).

В качестве другого классического случая Совпадения Индукций Уэвелл рассматривает открытие поляризации света Араго и Био, когда Томас Юнг смог провозгласить, что эти случаи могут быть сведены к общим законам интерференции, которые уже были им к этому времени установлены.

«И, что было не менее поразительным подтверждением истинности этой теории, измерения одного и того же элемента, выведенные из разных классов фактов, оказались совпадающими. В итоге длина светового колебания, подсчитанная Юнгом за счет измерения колец теней, оказалась совпадающей с предыдущими расчетами цветов тонких пластин» (Whewell 1847, vol.2, p.67).

С нашей точки зрения, демонстрация Максвеллом равенства скорости распространения электромагнитных волн скорости света также является примером «совпадения индукций»; последнее вызывается одной и той же «истинной причиной» - изменением во времени и пространстве напряженности электромагнитного поля.

При этом мы должны отметить следующее важное различие в разворачивании истинных и ложных теорий. В первом случае все вспомогательные дополнительные гипотезы стремятся к простоте и гармонии; новые предположения слагаются из старых, или в крайнем случае требуют незначительных модификаций первоначальной гипотезы. В итоге система становится более самосогласованной и общей; при этом вся цепочка гипотез все более и более сходится к определенному пределу. Примером этого пути является разворачивание Гельмгольцем и Герцем электродинамики Максвелла.

В случае же ложных теорий имеет место прямо противоположное. Новые предположения отнюдь не следуют из оригинальной схемы и с трудом с ней согласуются. Каждое последующее предположение настолько усложняет первоначальную схему, что в конце концов множество гипотез



становится неуправляемым. В итоге оно уступает место какой-то более простой гипотезе. Примером такого нагромождения гипотез является случай из античной науки, связанный с эксцентриками и эпициклами. В конце концов множество эпициклов уступило место теории эллиптического движения.

Другой пример – разворачивание электродинамики Ампера-Вебера Гельмгольцем и Герцем, которое в конечном счете привело к результату, противоположному первоначальным намерениям – утверждению уравнений Максвелла.

В итоге следующие два фактора характеризуют истинность теории.

- (1) **совпадение индукций** между различными областями фактов;
- (2) последовательное **упрощение** теории по мере распространения ее на новые частные случаи.

Различие между фактами и теориями относительно. Теоретические воззрения, установленные в качестве бесспорных представителями одного поколения ученых, становятся фактами для представителей другого поколения. Прогресс науки состоит, таким образом, «в переходе от общего к еще более общему».

Несмотря на то, что в каждом научном открытии содержится элемент случайности, вследствие чего нельзя в общем случае говорить об Искусстве Открытия новых научных истин (Art of Discovery), ни одно научное открытие не может быть охарактеризовано как случайное.

«Каким бы образом не предстали перед вниманием исследователя факты, они никогда не станут материалом точного знания до тех пор, пока не встретят ума, уже обладающего точными и подходящими концепциями, при помощи которых эти факты могут быть проанализированы и соединены» (Whewell 1847, vol.2,p.22).

И далее Уэвелл дает такое определение научного факта, которое вне всякого сомнения оказало влияние на Максвелла:

«Факт – это всего лишь повод, при помощи которого вся машина открытия приводится рано или поздно в движение. Это, как я уже говорил, - только искра, которая разряжает **ружье** (a gun), заранее заряженное и наведенное в цель» (Whewell, 1847, vol.2, p.23).

А теперь сравним этот отрывок со следующим отрывком из письма Максвелла:

«у меня в полном разгаре работа над статьей с электромагнитной теорией света, которую, до тех пор пока меня не убедят в обратном, я буду считать *великим оружием* (great guns)» (Maxwell; цит. по : Mahon, 2002, p. 123).

Так вот откуда это максвелловское сравнение теории с ружьем!

- В итоге мы можем заключить, что уэвелловская эпистемология не могла не оказать значительного влияния на методологию Максвелла. Именно у Уэвелла позаимствованы принципы активной роли человеческого разума в процессе познания, об относительности разделения на факты и теорию, об идейной нагруженности данных наблюдения, и, главное, понимание неразрывной связи индукции и дедукции в процессе коллигации и внимание к «совпадению индукций».

Но были и существенные **отличия**, связанные с принадлежностью Максвелла к философии шотландского Просвещения. Они состояли в отходе от жесткого кантианского рассмотрения фундаментальных идей как условий возможности опыта, которые раз и навсегда даны сознанию субъекта. Наоборот, в соответствии с традициями шотландской школы Максвелл будет рассматривать концепции как форму психологической связи между представлениями, которая может свободно меняться при переходе от одного познавательного субъекта к другому. Как впоследствии говаривал Ричард Фейнман, «один любит частицы, другому нравятся поля».

Непросто проследить все этапы эволюции максвелловской метафизики, но несомненно, что доклад «Существуют ли реальные аналогии в природе», прочитанный Максвеллом на заседании элитарного кембриджского «Клуба Апостолов» в феврале 1856г., является самой ее

кульминационной точкой. Этот год для творчества Максвелла особенно значим: именно в 1856г. была завершена публикация его первой электродинамической статьи «О фарадеевских линиях сил», в которой была тщательно намечена программа исследования электромагнитных явлений, которой, с нашей точки зрения, Максвелл следовал всю свою жизнь.

Какие-либо сведения о разрывах и скачках в максвелловском научном мировоззрении у нас отсутствуют (за исключением, возможно, его знакомства с Фарадеем и их личных встреч в Лондоне после того, как Максвелл вступил в должность профессора Кингз-колледжа). Поэтому можно констатировать, что кембриджский доклад представляет собой наиболее пространное изложение метафизических компонент «твердого ядра» максвелловской исследовательской программы.

Как уже говорилось выше, статья исходит из кантовских, априористских представлений о пространстве и времени, которые характеризуются как общеизвестные и *твердо установленные*.

«Поскольку, если даже не упоминать все вещи внешней природы, которые рассматриваются людьми в качестве *проекций вещей на их сознания*, все здание науки, вплоть до самой башни философии, иногда представляется как рассеченная модель природы, а иногда – как естественный рост внутреннего содержания сознания».

Но тут же – и это характерно для всего доклада – делается полемическая оговорка, что все сказанное Кантом не относится к *конкретным* свойствам пространства и времени – трехмерности пространства и одномерности и необратимости времени, которые относятся к «объективным истинам». Данное обстоятельство позволяет нам охарактеризовать данное обстоятельство как “реальную аналогию между конституцией интеллекта и внешним миром».

Отсюда вдумчивый слушатель (а Максвелл обращался к представителям кембриджской интеллектуальной элиты, воспитанным на традициях ректора Тринити колледжа и последователя Канта Уильяма

Уэвелла) может заключить, что априорные принципы кантовской философии непосредственно распространяются только на предельно общие метафизические принципы. Поэтому и общая, и заимствованная опять же у Канта аналогия между моральными и механическими принципами носит не реальный, конкретный, а призрачно-метафизический характер.

«Эта аналогия между доводами, причинами, [механическими] силами, принципами и моральными регулятивами настолько ярка, что ослепляет».

Достаточно пессимистический вывод, если принять во внимание, что Максвелл, с его известными наклонностями к метафизическим спекуляциям, был этой аналогией сильно увлечен, о чем, в частности, свидетельствуют следующие строки из его письма к своему другу – Льюису Кемпбеллу – написанному 14 Марта 1850 г. :

«трем законам механического движения в моральной философии соответствуют три метафизических, моральных принципа – принципы свободы, равенства и братства» (Campbell & Garnett, pp.187-188).

Философское разрешение конфликта, по Максвеллу, должно состоять в признании относительности всякого конкретного знания, в полном соответствии с шотландскими традициями здравого смысла с их нелюбовью к чистому, абстрактному анализу. Все, что нам остается – это прибегать к аналогиям и моделям.

«Тогда, когда видят отношение между двумя вещами, которые хорошо известны, и думают, что должно быть сходное отношение между вещами, которые менее известны, то заключают от одного к другому. Это предполагает, что несмотря на то, что пары вещей могут значительно отличаться друг от друга, *отношение* в одной паре может быть тем же, что и в другой. Теперь, с научной точки зрения **отношение – это самое важное, что нужно знать**, и знание одной вещи позволяет в конечном счете получить знание о другой. Если все, что мы знаем, - это отношение, и если все отношения одной пары вещей соответствуют отношениям другой пары, будет трудно отличить одну пару от другой...Правда, такие ошибки достаточно редки, за исключением математических и физических аналогий...Возможно «книга», как говорится, природы тщательно пронумерована; в этом случае несомненно, что вводные части будут

объяснять то, что следует за ними, а методы, которым учат в первых частях, будут сочтены таковыми и использованы для иллюстраций более продвинутых частей курса; но если это - не «книга», а иллюстрированный журнал, нет ничего глупее предположения, что одна ее часть может пролить свет на другие».

Таков первый урок, извлеченный Максвеллом из кантовской философии – (I) «принцип относительности научной истины». Но этим влияние Канта и эпистемологии конца XVIII – начала XIX вв. не ограничивается. Из рассматриваемого доклада может быть извлечен еще один принцип – (II) «принцип активности теории по отношению к опыту», - коренящийся в философии Уэвелла (см. приведенный выше отрывок):

« Расплывчатые контуры феноменальных вещей сливаются друг с другом (merge into one another) до тех пор, пока мы не направим на них *фокусирующее стекло теории*, и не сфокусируем его так, чтобы получить то одну дефиницию, то другую, - так, чтобы проникнуть на *разные глубины* великого жернова мира".

Значение этого принципа для всего творчества Максвелла трудно переоценить. В природе все явления тесно взаимосвязаны и взаимопроникают друг в друга (merge *into* one another). Но вся разница в теоретических подходах обусловлена не тем, что одни истинны, а другие ложны, а тем, что их авторы фокусируются на разных сторонах и разных уровнях рассматриваемых явлений. Поэтому задача теоретика состоит прежде всего в том, чтобы для каждого аспекта ввести соответствующие понятия (appropriate conceptions). Откуда они берутся? Из «опыта»? За счет непосредственного обобщения данных эксперимента?

– Другой отрывок из письма Максвелла, написанного в 1854г., позволяет глубже проникнуть в его творческую лабораторию.

«Вытачивание (grinding out) “подходящих идей” (appropriate conceptions), как их называет Уэвелл, - тяжелая работа. В конечном счете они все-таки появляются на свет божий, и после сталкивания их с фактами и с расхожими полу-переваренными теориями я рассчитываю придать им определенную форму, **после чего** я надеюсь узнать поболее об индуктивной философии, чем я знаю сейчас» (цит. по : Campbell & Garnett, 1890.p.112).

Вот откуда берутся понятия : они – не пассивные копии вещей, а те (априорные) формы, в которых хаотическая лава ощущений и впечатлений отливается, приобретая сначала смутные очертания. Но затем, в соответствии с традициями шотландского реализма, **эти сырые формы еще «обтачиваются»** за счет сталкивания их как с опытными данными, так и со следствиями из других теорий для того, чтобы приобрести завершенность.

И здесь-то и начинаются принципиальные расхождения с кантовской ( и уэвелловской) эпистемологией и начинается обращение к опыту шотландского реализма. «Подходящие идеи» должны быть сопоставлены с другими «подходящими идеями» (и в конечном счете с теми экспериментальными результатами, которые в них «вплавлены»). Задача теоретика состоит не только в том, чтобы ввести и отполировать (априорные) теоретические понятия, выражающие различные аспекты явлений, но и также в том, чтобы соединить эти понятия в синтезе.

Каким же должен быть этот синтез ? – Его контуры и этапы намечены в другой философской работе Максвелла – статье *«Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц»*, посвященной анализу творчества одного из наиболее близких по духу для Максвелла исследователей, наставнику Генриха Герца, человеку, много сделавшему для развития теории электромагнитного поля. Примечательно, с чего начинается эта статья.

«Обычно научное знание растет за счет аккумуляции вокруг конечного числа отличающихся друг от друга центров. Но рано или поздно должно наступить такое время, когда два или более раздела знания уже больше не могут оставаться независимыми друг от друга, но должны *слиться в согласованное целое* (must be fused into a consistent whole). Но, несмотря на то, что ученые мужи могут быть глубоко убеждены в необходимости подобного слияния, сама эта операция является одной из *самых трудных*. Ведь, **хотя явления природы все согласованы друг с другом**, мы должны иметь дело не только с ними, но и с гипотезами, которые были изобретены для систематизации этих явлений; и ниоткуда не следует, что из-за того, что одно множество наблюдателей выработало со всей искренностью для их упорядочения одну группу явлений , гипотезы, которые они сформировали, будут согласованы с теми, при помощи которых второе множество

наблюдателей объясняли другое множество явлений. Каждая наука может показаться достаточно (tolerably) согласованной внутри самой себя, но прежде чем они смогут быть объединены в одно целое, каждая должна быть освобождена от известкового раствора, при помощи которого ее части были предварительно скреплены для согласования друг с другом. Поэтому операция слияния двух наук в одну в общем случае содержит много критики установленных методов, и отбрасывание многих кусков любимых знаний, которые ранее долгое время имели устойчивую научную репутацию» (Maxwell, 1890, p.592).

Этот важнейший отрывок – не случайное для Максвелла обстоятельство; Максвелл неоднократно подчеркивал ценность третьего принципа своей методологии – «взаимооплодотворения разными науками друг друга» (III; подробнее см.: Harman, 2001, p.4). Только те понятия должны «выжить» в процессе тщательного сопоставления с другими, которые способствуют объединению, **взаимопроникновению** различных встретившихся друг с другом теорий. С этим принципом неразрывно связан и четвертый максвелловский принцип – принцип «устранения остатков цемента» (IV), способствующий устранению тех понятий, которые препятствуют синтезу теорий.

Классический пример устранения «остатков цемента», который Максвелл приводил неоднократно (в частности, в статье «О действии на расстоянии»), – это создание ньютоновской теории тяготения, когда

«прогресс науки состоял в освобождении от небесных механизмов, которыми поколения астрономов загромождали небеса, в смывании паутины (sweeping cobwebs off) с неба» (Maxwell, 1890, p.315; см. также : Нугаев, 2012).

Отсюда – причины, приведшие к зарождению концепции «действия на расстоянии», созданной не самим Ньютоном, а лишь определенной группой его последователей во главе с д-ром Роджером Коттсом, написавшим предисловие к «Математическим началам натуральной философии Исаака Ньютона.

«Особенно важно то, что ньютоновский метод должен был быть распространен на всякую область науки, к которой он оказывался применимым, – что мы прежде всего должны исследовать силы, с которыми

тела действуют друг на друга, до того, как мы попытаемся объяснить как эти силы передаются. Никто лучше не подходил для решения первой задачи, чем те, которые считали вторую часть совершенно несущественной» (Maxwell, 1890, p. 317).

В случае создания максвелловской электродинамики примером понятия, которое устраняется из-за того, что мешает дальнейшему объединению, является понятие «несжимаемой жидкости». Хотя первоначально оно и способствовало получению части уравнений Максвелла, в дальнейшем оно стало тормозить процесс получения всей системы уравнений. Поэтому Максвелл вынужден был отказаться от понятия «несжимаемая жидкость» и обратиться к понятию «вихря в эфире».

### **Резюме первой главы.**

Непосредственными предшественниками Максвелла в деле создания теории электромагнетизма были Ганс Христиан Эрстед, Андре-Мари Ампер, Майкл Фарадей и Уильям Томсон. Но мировоззрение Максвелла резко отличалось от взглядов этих исследователей несопоставимо более высоким уровнем философской культуры, подчеркнутой ориентацией на взгляды Канта критического периода. Несомненно, что его источником были лекции по философии, читавшиеся в эдинбургском университете ведущим шотландским философом Уильямом Гамильтоном, одним из представителей шотландской философии «здравого смысла», наследником традиции Томаса Рида и Дугалда Стюарта. Отрицая юмовский скептицизм, Гамильтон колебался между релятивизмом Канта и реализмом Рида, что и отметил Максвелл в качестве основного пункта своей собственной метафизической программы - «прочтение кантовской “Критики чистого разума” под углом согласования ее с сэрмом Уильямом Гамильтоном».

Максвелл намеревался найти свой собственный путь - на этот раз между Сциллой кантовского априоризма и Харибдой шотландского реализма, основанного на здравом смысле. Для последнего были характерны сильные психологические тенденции, которые в принципе допускали совмещение с логико-аналитическими традициями кантианства, что и имело место в случае максвелловской методологии.

Значительное влияние на разработку максвелловской методологии синтеза оказал также и Уильям Уэвелл. Именно у Уэвелла позаимствованы принципы активной роли человеческого разума в процессе познания, об относительности разделения на факты и теорию, об идейной нагруженности данных наблюдения, и, главное, понимание неразрывной связи индукции и дедукции в процессе коллигации и внимание к «совпадению индукций». Но были и существенные отличия, связанные с принадлежностью Максвелла к



философии шотландского Просвещения.

В итоге основы максвелловской методологии, отчасти основанные на уроках, извлеченных Максвеллом из философии Канта, Уэвелла и шотландской философии здравого смысла, можно свести к следующим принципам:

(I) «принцип относительности научной истины»;

(II) «принцип активности теории по отношению к опыту»;

(III) «принцип взаимооплодотворения разными науками друг друга»: только те понятия должны «выжить» в процессе тщательного сопоставления с другими, которые способствуют объединению, взаимопроникновению различных встретившихся друг с другом теорий; отсюда следует

(IV) «принцип устранения остатков цемента»: необходимо устранять те понятия, которые препятствуют синтезу теорий.

**ГЛАВА ВТОРАЯ. Начальный этап реализация синтетической программы Максвелла : статья «О фарадеевских силовых линиях» (1856).**

*Свойства жидкости полностью в нашем распоряжении: сначала мы сделали ее несжимаемой, а сейчас предполагаем, что она возникает из ничего в одних точках, и превращается в ничто в других.*

Джеймс Максвелл

Для того, чтобы понять, каким образом Максвелл последовательно реализовывал описанные выше принципы, выведенные из попыток выделить рациональные элементы как из кантовской философии, так и эпистемологии его английского последователя Уэвелла, равно как и из шотландского «реализма здравого смысла» с упором все-таки на Канта, обратимся к его основным работам по электромагнетизму. Традиционно принято выделять четыре основных работы Максвелла:

- **статью** «О фарадеевских силовых линиях» (1856; далее иногда обозначаемую как [I]);
- **статью** «О физических силовых линиях» (1861-1862; [II]),
  - (1) первая часть которой была опубликована в журнале “Philosophical Magazine” в апреле 1861;
  - (2) вторая часть которой была опубликована в том же журнале в мае 1861;
  - (3) третья часть – в январе 1862г.;
  - (4) четвертая – в феврале 1862г.;
- **статью** «Динамическая теория электромагнитного поля» (1864; [III]);
- **монографию** «Трактат об электричестве и магнетизме» (1873; [IV]).

Основные вопросы, которые встают перед нами при попытках понять все творчество Максвелла в области теории электромагнетизма в совокупности, как единое целое, сводятся к следующим.

- (1) Можем ли мы говорить о **единой**, целостной программе Максвелла, т.е. действительно ли существуют какие-либо общие положения, которые

(пусть неявно) переходят из одной работы Максвелла в другую?

(2) Имеем ли мы право говорить о **синтетической программе** Максвелла, если термина «синтез» сам Максвелл старательно избегает, говоря просто о «теории электромагнитного поля»? (Скажем, Маргарет Моррисон утверждает, что Максвелл и не пытался что-либо объединить, а «просто строил теорию электромагнитных явлений»).

(3) Зачем понадобилась программа Максвелла, если была **другая** программа – Ампера-Вебера, которая превосходно объединила и электричество, и магнетизм в единой, понятной и непротиворечивой теоретической схеме, и уже начала успешно присоединять к ней и оптику, о чем сам Максвелл был прекрасно осведомлен?

- Ключ к ответу – не только в самих научных работах, подобных [I]-[IV], но и в научно-популярных произведениях и докладах, а также в письмах Максвелла. Но проблема реконструкции его аутентичных мыслей и замыслов осложняется следующими обстоятельствами.

(1) Хорошо известной *туманностью* высказываний Максвелла, восходящей, судя по всему, еще к детским годам. Как пишет один из его биографов, «его постоянная сосредоточенность на собственных мыслях привела к привычкам одиночества и уединенности, которые сформировали особенности его речи и манер. Он был застенчивым и странным малым, а его высказывания были часто туманны как по форме, так и по существу» (Niven, 1890, p. XI).

Другой современник, близко знавший его уже по студенческим годам, отмечал, что «к сожалению, его любовь к аллегориям, соединенная с определенной туманностью в выражениях, приводила к тому, что часто понять смысл его высказываний было затруднительно...» (Campbell & Garnett, 1888, p.478).

И, наконец, третий современник Максвелла, знавший его в зрелые годы, указывал на то, что «старые особенности его манеры говорения остались без изменения, и по-прежнему было непросто проникнуть в

содержание его мыслей» (Campbell & Garnett, 1888, p.478). Судя по всему, именно эти особенности (а также шотландский акцент) привели к определенным сложностям в отношениях со студентами, чем и объясняется то, что профессор Максвелл никогда на одном месте долго не задерживался. Ни в абердинском университете (1856-1860), ни в Кингз-колледже (Лондон, 1860-1864).

(2) Самой манерой подачи результатов, принятой в «викторианской» физике XIX в. и сохранившейся вплоть до второй половины XX в., например, в советских научных журналах, когда полученные данные старались представить в максимально «пристойном», «причесанном», логически-упорядоченном виде, скрывающем все сомнения, отступления и промежуточные этапы. Как отмечал много позже сам Максвелл в *«Трактате об электричестве и магнетизме»*,

«метод Ампера, однако, хотя и изложен в индуктивной форме, не позволяет нам проследить процесс образования и развития идей, которыми он руководствовался. Мы с трудом можем поверить, что Ампер в действительности открыл закон взаимодействия при посредстве описываемых им экспериментов. Мы вынуждены подозревать, в чем, впрочем, признается сам Ампер, что закон открыт им при помощи некоего процесса, который он нам не показывает, и что когда была построена законченная теория, он удалил все следы лесов, при помощи которых здание было возведено (Максвелл, [1873], 1952, С.382).

Все это, с нашей точки зрения, в неменьшей мере применимо к самому автору «Трактата».

Обратимся к самой первой работе по электромагнетизму – к статье [I] *«О фарадеевских силовых линиях»*, впервые опубликованной в «The Transactions of the Cambridge Philosophical Society», vol. X, part 1, 1856 на основе двух докладов, прочитанных Максвеллом перед кембриджским философским обществом 10 декабря 1855г. и 11 февраля 1856г. В силу того, что в этой работе заложены основы *всей* исследовательской синтетической программы Максвелла, она заслуживает особого внимания (и более обильного цитирования).

Хотя термин «синтез», как отметила еще М. Моррисон, Максвелл практически в своих работах не употребляет, в начале этой статьи фактически речь идет именно об этом. Несмотря на то, что «современное состояние электрической науки представляется особенно неблагоприятным для спекуляций»,

«ни одна электрическая теория сейчас не может быть выдвинута до тех пор, пока она не раскроет *связь* (здесь и далее, за исключением особо отмеченных случаев, курсив мой - РМН) не только между покоящимся электричеством и электричеством токов, но и между притяжениями и индуктивными эффектами в обоих состояниях...» (Maxwell [1856]; 1890, p. 155).

Почему же это еще не было сделано и в чем же состоят недостатки существующих теорий? – В том, что

« для того, чтобы удовлетворить требованиям науки, студент должен ознакомиться со значительным объемом предельно запутанных математических знаний, с таким объемом, простое удержание которого в памяти препятствует дальнейшему прогрессу. Поэтому для дальнейшего эффективного изучения науки первым делом надо *упростить* и свести результаты предыдущих исследований к такой форме, которую ум может усвоить. Результаты этого упрощения могут принять форму или чисто математической формулы, или физической гипотезы. Но в первом случае мы полностью теряем из виду то явление, которое мы собираемся объяснить; и, несмотря на то, что мы можем проследить следствия из данных законов, мы никогда не сможем получить более широкие представления о *взаимосвязях* рассматриваемого предмета.

Если же, с другой стороны, мы примем физическую гипотезу, мы получим только опосредованный образ явлений, и будем нести ответственность за ту слепоту к фактам и за ту скороспелость в принятии предпосылок, которые этим односторонним объяснением одобряются. Поэтому мы должны открыть такой *метод изучения*, который позволит уму на каждом этапе владеть ясной физической концепцией, не отдавая предпочтения любой теории, основанной на той физической науке, из которой эта концепция заимствована, так что она ни уводится в сторону от предмета аналитическими тонкостями, ни выходит за пределы истины из-за принятия излюбленной гипотезы.

Для того, чтобы получить физические идеи без принятия физической теории мы должны ознакомиться с существованием *физических аналогий*. Под физической аналогией я подразумеваю такое частичное сходство между

законами одной науки и законами другой науки, которое позволяет каждой из них проиллюстрировать другую» (Maxwell [1856]; 1890, p. 155).

Метод физических аналогий поясняется на двух расхожих примерах – соотношении корпускулярной и волновой теории света и соотношением волновой теории света и теории упругого эфира. Подчеркивая, что в первом случае выводы обеих теорий совпадают, – но только тогда, когда мы рассматриваем направление, но не скорость света, Максвелл отмечает, что аналогия между движением частицы и прохождением светового луча «долгое время рассматривалась как истинное объяснение световой рефракции»; более того, она и по сей день полезна для решения определенных научных проблем.

То же справедливо и по отношению ко второй аналогии – между светом и колебаниями эластичной среды. И в этом случае данная аналогия весьма плодотворна и ведет к такому объяснению, которое раскрывает «физический смысл» явления. Если же мы проигнорируем эту аналогию, «мы получим систему истин, прямо основанных на наблюдениях, но возможно ущербную как в *живости* своих понятий, так и в *плодотворности* своего метода».

Но особенно важной представляется Максвеллу (впервые описанная В. Томсоном) аналогия между потоком тепла в однородном веществе и статическим электричеством. На первый взгляд, нет и ничего не может быть общего между физическим процессом, который описывается такими понятиями, как «температура», «поток тепла», «проводимость», и процессом, который описывается таким понятием как «сила притяжения между удаленными частями».

Тем не менее, мы обнаруживаем, что математические законы равномерного движения тепла в однородном веществе идентичны по форме законам притяжения, спадающим обратно пропорционально закону квадратов. Нам остается только подставить «источник тепла» вместо «центра

притяжения», «поток тепла» вместо «ускоряющего эффекта притяжения в любой точке», и «температуру» вместо «потенциала», и решение проблемы притяжений преобразуется в решение проблемы теплоты.

«Правда, если мы введем другие соображения и зафиксируем дополнительные факты, эти два предмета рассмотрения приобретут весьма значительно различающиеся аспекты, но математическое сходство некоторых их законов останется, и все еще сможет быть использовано *для пробуждения соответствующих математических идей* (Maxwell [1856], 1890, p.157).

В который раз Максвелл использует уэвелловские понятия и идеи: аналогия помогает выявить, раскрыть те математические априорные идеи, которые изначально даны нашему разуму.

Все эти предварительные соображения необходимы Максвеллу, конечно, для того, чтобы перейти к центральной проблеме :

«именно при помощи такого рода аналогий я попытался выставить на рассмотрение в удобном и доступном виде те математические идеи, которые необходимы для исследования феномена электричества» (Maxwell [1856], 1890, p.157).

В чем же состоит *принципиальная новизна* максвелловского подхода к явлениям электричества и магнетизма, основанного на методе физических аналогий, и в лучшую сторону отличающая его от уже разработанных к тому времени подходов?

- Отнюдь не в том, что он предлагает еще один «онтологический» подход, отвергающий все предыдущие как основанные на ложных предпосылках и утверждающий, что «на самом деле» электричество и магнетизм - это поля, а не непосредственные взаимодействия зарядов, происходящие по прямым линиям. Как неоднократно подчеркивает сам Максвелл,

«я не буду делать никаких предположений о *физической природе* электричества»; «я не собираюсь утверждать ни одну физическую теорию в науке, в которой я не произвел ни одного эксперимента» (там же).

Фарадеевские идеи применяются им не для того, чтобы раскрыть сущность электричества и магнетизма, а для того, чтобы

«показать, каким образом скрупулезное применение идей и методов Фарадея **представляет на математическое рассмотрение** раскрытую им *взаимосвязь существенно различных порядков явлений*» (Maxwell [1856], p.58).

Но «идеи Фарадея» в данном случае – не полевые концепции, как это могло бы показаться современному читателю, воспитанному на представлениях о том, что максвелловская электродинамика – это лишь математическое выражение физических концепций Фарадея. «Идеи Фарадея» - это всего лишь представления о силовых линиях, касательных к направлениям электрических и магнитных сил в данной точке.

Поэтому мы приступаем к

« такому определению сил в каждой точке, когда они могут быть репрезентированы равномерным движением несжимаемой жидкости. Я затем предлагаю...; и в конечном счете намереваюсь показать, каким образом при помощи распространения этих методов, и за счет введения другой идеи Фарадея, законы притяжения и индуктивных действий могут быть ясно поняты **без введения предположений о физической природе электричества...**

Соотнося все с *чисто геометрической* идеей движения **воображаемой жидкости**, я надеюсь добиться *общности* и *точности*, а также избежать опасностей, возникающих благодаря поспешному принятию предварительной теории, намеревающейся объяснить причины этих явлений. Если результаты чистой спекуляции, которые я собрал, будут найдены представляющими хоть какую-то пользу для экспериментальных философов, в получении и интерпретации их результатов, то они послужили своей цели, и будет создана такая развитая (mature) теория, в которой физические факты будут физически объяснены теми, кто, задавая вопросы Природе, может получить единственно правильное решение проблем, которые ставятся математической теорией» (Maxwell [1856], p.159).

Таким образом, первая инновация Максвелла состояла в том, что он предложил рассматривать фарадеевские силовые линии, которые описывали направления электрических и магнитных сил, в качестве трубок с некоей идеальной несжимаемой жидкостью, репрезентирующих теперь не только



направления сил, но и их интенсивности, поскольку скорости течения жидкости обратно пропорциональны сечениям этих трубок.

Для сторонника философии Канта принципиально важно, что эта несжимаемая жидкость практически **никакого отношения к реальности не имеет**. Максвелл ни в коем случае не хочет утверждать, что какие-либо свойства электромагнитных явлений репрезентируются свойствами несжимаемой жидкости. Не случайно ни в [I], ни позже Максвелл никогда не заботился о том, чтобы построить единую непротиворечивую механическую модель (не путать с теорией) электромагнитных явлений, а часто использовал одновременно несколько моделей, которые даже могли противоречить друг другу.

«Это даже и не гипотетическая жидкость, вводимая для объяснения действительных явлений. Это – всего лишь *собрание воображаемых свойств*, которое может быть использовано для вывода определенных теорем чистой математики способом, для многих более интеллигентным и более подходящим для физических проблем, чем тот способ, в котором используются только алгебраические символы» (Maxwell [1856], p.160).

Как отмечает Максвелл, репрезентация электрических и магнитных полей при помощи трубок с несжимаемой жидкостью в выгодную сторону отличается от других случаев тем, что между трубками нет никакого промежутка. Единственное налагаемое на предлагаемые модели требование, как, впрочем, и на все математические конструкции, – чтобы они не противоречили друг другу. Во всем остальном – полная свобода воображения. Даже законы сохранения могут в наших моделях нарушаться !

«В концепциях источников, где жидкость может производиться, и стоков, где она аннигилируется, нет ничего само - противоречивого. Свойства жидкости полностью в нашем распоряжении, мы сделали ее несжимаемой, а сейчас предполагаем, что она возникает из ничего в одних точках, и превращается в ничто в других» (Maxwell [1856], p.162).

К этому следует добавить, что введенное Томсоном и Максвеллом исследование электростатики и магнитостатики при помощи

гидродинамических моделей оказалось весьма плодотворным; в теории поля до сих пор используются термины «источники», «дивергенция», «ротор» (вихрь) и т.д.

И в оставшихся разделах работы [I] Максвелл показывает, каким образом идея линий движения жидкости может быть применена для описания таких относительно простых разделов, как статическое электричество, постоянный магнетизм, магнетизм индукции и однородные гальванические токи. Там же вводится вторая максвелловская инновация, также основанная на идеях Фарадея – идея *электротонического* состояния. Максвелл связывал идею Фарадея об электротоническом состоянии с представлением о магнитном потоке и его инерционных свойствах. Он ввел «электротонический вектор» **A** как характеристику потенциальной возможности появления электродвижущей силы при изменении магнитного поля.

«Мы можем представить себе электротоническое состояние в какой-либо точке пространства как некоторый определенный по величине и направлению вектор и можем это электротоническое состояние выразить в данной точке пространства с помощью какого-либо механического вектора, например, скорости или силы, направление и величина которых соответствуют направлению и величине определенного нами электротонического состояния. *Такое представление не связано ни с какой физической теорией*, а является только своего рода искусственной иллюстрацией» (Максвелл, [1856], 1952, С.83).

Таким образом, суть двух максвелловских инноваций, предлагаемых им в работе 1856г. – конструирование, разработка «**нейтрального языка**» для описания и сравнения выводов из различных конкурирующих схем и теорий. Этот язык – отнюдь не «язык наблюдений» логического эмпиризма: Максвелл ясно отдает себе отчет в обстоятельстве, которое в философии науки XX в. получило название «теоретическая нагруженность языка наблюдения». Он хорошо понимает, что всякое наблюдение всегда несет «отпечатки» теоретического языка, при помощи которого оно описано. («Следы цемента», как позже назовет их Максвелл в статье «Гельмгольц»).

Поэтому для того, чтобы сравнить между собой и свести воедино, - в **непротиворечивую** теоретическую схему - результаты разных экспериментов, несущих следы разных теоретических языков, необходимо создать особый, искусственный теоретический язык, по возможности равноудаленный от всех сравниваемых теорий. И исследования В. Томсона (на которые в своих работах постоянно ссылается Максвелл) показали ему, каким этот язык должен быть. Его основа – терминология механики сплошных сред. Конечная цель Максвелла – спроецировать выводы всех конкурирующих теорий на эту область, «переписать» все известные законы на этом языке, сравнить их выводы между собой для того, чтобы избавиться от противоречий и обобщить, наконец, в самосогласованной системе уравнений.

Итог статьи [I] – демонстрация значимости для теории электромагнетизма операций  $\text{div}$  и  $\text{rot}$ , а также вывод следующих уравнений:

$$\text{div } \mathbf{E} = 4\pi\rho \quad (\text{закон Кулона}),$$

$$\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B} \quad (\text{уравнение электротонического состояния}); \quad (\text{M-1})$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{J} \quad (\text{закон Ампера});$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (\text{закон электромагнитной индукции});$$

$$\text{div } \mathbf{H} = 0 \quad (\text{отсутствие магнитных зарядов})$$

Таким образом, в работе [I] почти все уравнения Максвелла уже были написаны, но – без тока смещения. И действительно, весьма важным недостатком модели трубок несжимаемой жидкости было то, что они, за исключением простых отдельных случаев, **были неспособны объяснить в общем виде связи и взаимодействия электрических полей, магнитных полей и электрических токов, а также продемонстрированную в Фарадеем в 1845г. взаимосвязь магнитных и оптических явлений.**

Ведь, как мы уже отмечали, целью всей своей программы Максвелл поставил устранение присущей электродинамике Ампера-Вебера

«разобщенности покоящегося и движущегося зарядов». Была ли эта цель достигнута в 1856г. ? – Нет. Между плотностью тока  $\mathbf{j}$  (движущимся электричеством) и плотностью заряда  $\rho$  (электрическим покоящимся) в описанной выше максвелловской схеме никаких связей нет. Они появятся позже, после введения «тока смещения» и соответствующего следствия – уравнения непрерывности  $\operatorname{div} \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ . Пока же, выписывая вытекающее из вышеприведенных уравнение  $\operatorname{div} \mathbf{j} = 0$ , Максвелл замечает, что его исследование пока ограничивается только замкнутыми токами. Прежде чем изменять что-либо в полученной системе уравнений (M-1), надо было освободиться от принятых модельных представлений о природе токов. Принятая Максвеллом кантианская методология сделать это вполне позволяла.

### **Резюме ко второй главе.**

В работе Максвелла «О фарадеевых силовых линиях» (1856) были заложены основы всей исследовательской синтетической программы Максвелла. Принципиальная новизна максвелловского подхода к явлениям электричества и магнетизма, основанного на методе физических аналогий и в лучшую сторону отличающая его от уже разработанных к тому времени подходов, состояла отнюдь не в том, что он предлагал еще одну теоретическую «онтологию», отвергающую все предыдущие как основанные на ложных предпосылках и утверждающую, что «на самом деле» электричество и магнетизм – это поля, а не непосредственные взаимодействия зарядов, происходящие по прямым линиям. Фарадеевские идеи применялись им не для того, чтобы раскрыть сущность электричества и магнетизма, а для того, чтобы показать, в соответствии с уэлловской методологией, каким образом скрупулезное применение идей и методов Фарадея «представляет на математическое рассмотрение» раскрытую им взаимосвязь существенно различных порядков явлений.

Первая инновация работы 1856г. состояла в том, что Максвелл предложил рассматривать фарадеевские силовые линии, которые описывали направления электрических и магнитных сил, в качестве трубок с идеальной несжимаемой жидкостью, репрезентирующих теперь не только направления сил, но и их интенсивности, поскольку скорости течения жидкости обратно пропорциональны сечениям этих трубок. Для сторонника философии Канта было принципиально важно, что эта несжимаемая жидкость практически никакого отношения к реальности не имеет. Максвелл ни в коем случае не

собирался утверждать, что какие-либо свойства электромагнитных явлений репрезентируются свойствами несжимаемой жидкости. Не случайно ни в 1856г., ни позже Максвелл никогда не заботился о том, чтобы построить единую непротиворечивую механическую модель электромагнитных явлений, а часто использовал одновременно несколько моделей, которые даже могли противоречить друг другу.

В работе 1856г. Максвелл показал, каким образом идея линий движения жидкости может быть применена для описания таких относительно простых разделов, как статическое электричество, постоянный магнетизм, магнетизм индукции и однородные гальванические токи. Там же была введена вторая максвелловская инновация, также основанная на идеях Фарадея – идея «электротонического состояния».

Суть двух максвелловских инноваций, предложенных в работе 1856г. – конструирование «нейтрального языка» для описания и сравнения выводов из различных конкурирующих схем и теорий. Этот язык – отнюдь не «язык наблюдений» логического эмпиризма: Максвелл отдавал себе отчет в том обстоятельстве, которое в философии науки XX в. получило название «теоретическая нагруженность языка наблюдения». Он понимал, что всякое наблюдение несет «отпечатки» теоретического языка, при помощи которого оно описано.

Поэтому для того, чтобы сравнить между собой и свести воедино, - в непротиворечивую теоретическую схему - результаты разных экспериментов, несущих следы разных теоретических языков, необходимо было создать особый, искусственный теоретический язык, по возможности равноудаленный от всех сравниваемых теорий. И исследования У. Томсона указали Максвеллу на наиболее подходящего кандидата - механику сплошных сред. Конечная цель Максвелла – спроецировать выводы всех конкурирующих теорий на эту область, «переписать» все известные законы на этом языке, сравнить их выводы между собой для того, чтобы избавиться от противоречий и обобщить, наконец, все известные данные в самосогласованной системе уравнений.

Другими результатами статьи 1856г. явились демонстрация значимости для теории электромагнетизма операций  $\text{div}$  и  $\text{rot}$ , а также вывод следующих уравнений:  $\text{div } \mathbf{E} = 4\pi\rho$  (закон Кулона);  $\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B}$  (уравнение электротонического состояния);  $\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{J}$  (закон Ампера);  $\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$  (закон электромагнитной индукции) и  $\text{div } \mathbf{H} = 0$  (отсутствие магнитных зарядов).

Несмотря на достигнутые успехи, весьма важным недостатком модели трубок несжимаемой жидкости было то, что она, за исключением простых отдельных случаев, была неспособна объяснить в общем виде связи и взаимодействия электрических полей, магнитных полей и электрических токов, а также продемонстрированную в Фарадеем в 1845г. взаимосвязь магнитных и оптических явлений.

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Промежуточный этап реализации синтетической программы Максвелла : статья «О физических силовых линиях» (1861-1862).

*Я утверждаю, что во всех случаях действительного объединения теорий у нас имеется механизм или параметр, представленный в теории, который играет роль необходимого условия, требуемого для усмотрения связи между явлениями. В электродинамике эту роль играл ток смещения.*

Маргарет Моррисон

*Электрический ток в непроводнике был той самой вещью, которая была необходима для координации электростатики и электрокинетики и для того, чтобы последовательно согласовать уравнения электромагнетизма.*

Оливер Хевисайд

Прошло шесть лет. За это время Максвелл стал профессором кафедры натуральной философии в Кингз-колледже (Лондонский университет), и имел теперь возможность встречаться с Майклом Фарадеем. Фарадей к тому времени уже завершил свои «*Экспериментальные Исследования*», и, выйдя в отставку, проживал в лондонском районе Хемптон Корт. Тем не менее, он не перестал размышлять о проблемах электричества и магнетизма. В частности, по свидетельству одного из его биографов (Vence Jones, p.379), именно в это время в его записной книжке появилась догадка о том, что возможная скорость распространения магнитных возмущений – того же порядка, что и скорость света.

Не общением беседами ли с Фарадеем объясняется не только появление статьи [III], но и сам ее тон?

Как писал Фарадей Максвеллу в письме, отправленном из Королевского Института 13 ноября 1857г.,

«я бы хотел попросить Вас вот о чем. Когда математик, вовлеченный в исследование физических действий и результатов, приходит к своим собственным выводам, не могут ли эти выводы быть выражены при помощи *обычного языка*, так же полно, ясно и определенно, как в математических формулах? Если так, не будет ли слишком большой милостью для таких как мы выразить их следующим образом – перевести их с иероглифов на

обычный язык так, чтобы мы тоже могли работать с ними в экспериментах» (цит. по: Dr. Vence Johns, 1870, p.392).

Не следует также упускать из виду и то обстоятельство, что Максвелл как никто другой был заинтересован в экспериментальной проверке своих весьма нетривиальных теоретических выводов, подобных току смещения.

Как мы уже отмечали, одна из причин появления статьи [II] – в том, что проведенных в аспирантуре исследований оказалось явно недостаточно, и в 1861г. Максвелл начинает публикацию в четырех частях в журнале “*Philosophical Magazine*” второй статьи, посвященной проблемам электричества и магнетизма – «*О физических силовых линиях*». Название первого раздела говорит само за себя : «*Применение теории молекулярных вихрей к явлениям магнетизма*». Цель данного раздела – переполучить результаты, полученные теориями Вебера и Неймана, исходя на этот раз из новой, «вихревой» механической модели несжимаемой жидкости.

«Моя цель в этой статье – *расчистить путь* для спекуляций в этом направлении [применение концепции силовых линий] за счет исследования механических результатов определенных состояний натяжения и движения в веществе, и сравнения этого с наблюдаемыми явлениями электричества и магнетизма. Указывая на механические следствия этих гипотез, я надеюсь быть полезным тем, кто рассматривает эти явления как существующие благодаря действию вещества, но сомневаются в отношении этой гипотезы к тем уже установленным экспериментальным законам, которые были выражены на языке других гипотез» (Maxwell, [1861, p.162).

В предыдущей статье, указывает Максвелл, им была дана геометрическая интерпретация «электротонического состояния» и определены математические соотношения между электротоническим состоянием, магнетизмом, электрическими токами и электродвижущей силой, «используя механические иллюстрации для того, чтобы **помочь воображению, но не для объяснения явлений**».

Теперь интонация изменяется, переходя от вопросительной и гипотетической интонации первой статьи к гораздо более твердой и уверенной.

«Теперь я предлагаю *рассматривать магнитные явления с механической точки зрения*, и определить, какие натяжения среды, и движения среды способны произвести наблюдаемые механические явления. Если, при помощи той же гипотезы, мы сможем *связать* явления магнитного притяжения с электромагнитными явлениями и с явлениями индуцированных токов, - значит мы нашли теорию, которая может быть и неистинной, но эксперименты, которые смогут ее опровергнуть, значительно расширят наши знания в этой области физики» (Maxwell, [1861], p.163).

Максвелл констатирует, что для описания очередного ряда явлений магнетизма и электромагнетизма модель движения несжимаемой жидкости в трубках тока оказывается недостаточной и должна быть заменена другой моделью, основанной на иных представлениях. Каких? - Здесь исследования У. Томсона опять приходят на помощь. Согласно этим исследованиям, основанным на экспериментах Фарадея, если явления электричества имеют поступательный характер, то явления магнетизма – вращательный.

Как указывал сам Томсон в своем докладе в фарадеевском Королевском Институте,

«определенное выравнивание осей вращения в этом вихревом движении и есть магнетизм; фарадеевский магнито-оптический эксперимент превращает это высказывание не в гипотезу, а в **очевидное утверждение**» (цит. по: Siegel, p.35).

Для Максвелла было также значимо то, что молекулярные вихри также устанавливают связь теории электромагнетизма с другими его исследованиями и, прежде всего, с динамической теорией теплоты.

Для нашего исследования принципиально важно, что Томсон ввел модели вихрей в несжимаемой жидкости не только для описания чисто магнитных явлений, но и для описания явлений *взаимодействия* магнитного поля со светом. Он ввел модели вихрей при теоретическом воспроизведении опытов Фарадея по вращению плоскости поляризации света в магнитном поле! **Фактически в попытках теоретического воспроизведения исследований Фарадея, на которые постоянно ссылался Максвелл, и произошла «встреча» оптики и теории магнетизма.**



Поэтому томсоновско-максвелловские вихри фактически являются т.н. «гибридными объектами» (Нугаев, 1989), сочетающими в себе свойства двух разных теорий – оптики и теории магнетизма. Письма Томсона показывают, что он воспринимал эффект Фарадея (1845) как указание на то, что в основе оптики, электричества и магнетизма лежит один и тот же светоносный эфир. Предположив, что магнитные силовые линии репрезентируют оси молекулярных вихрей, легко можно было показать, что центробежные силы должны были стремиться расширять поперечные размеры вихрей, вынуждая их при этом, за счет несжимаемости жидкости в вихревых трубках, сокращать продольные размеры.

В итоге, «мы подошли к рассмотрению магнитных влияний как существующих в виде давлений или натяжений, или, в более общем случае, стрессов в некоторой среде» (Maxwell, [1861], p. 163).

Как известно, в теории упругости отношения между существующими силами математически описываются в виде тензоров – т.е. в виде комбинаций трех базисных натяжений по осям, взаимно перпендикулярным друг к другу. В максвелловской модели магнитное поле теперь представлено набором вихрей в несжимаемой жидкости, оси вращения которых совпадают с направлением магнитной силы в каждой точке. При переходе от точки к точке направление оси вращения, его скорость и плотность вещества изменяются.

Тензорный аппарат механики сплошных сред теперь позволяет рассчитать силу, действующую на единичный объем вещества (сравните с формулой Вебера) :  $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 + \mathbf{F}_5$ . Она состоит из пяти членов. Первый член  $\mathbf{F}_1$  – это сила, действующая на магнитный полюс; второй член  $\mathbf{F}_2$  – сила магнитной индукции; третий  $\mathbf{F}_3$  и четвертый  $\mathbf{F}_4$  члены – сила, действующая на электрические токи. Пятый член  $\mathbf{F}_5$  электромагнитного смысла не имеет; это – простое давление. Это еще раз говорит о том, что здесь мы имеем дело всего лишь с вихревой моделью электромагнитных

процессов; какие-то стороны электромагнетизма она описывает, а какие-то – нет.

Далее, необходимо рассчитать каждый член в отдельности. В частности, в первом случае, в предположении, что плотность вещества  $\rho$  соответствует магнитной проницаемости  $\mu$ , а угловая скорость – напряженности магнитного поля, мы получаем, что

«силовые линии в области пространства, где  $\mu$  однородно, и где электрические токи отсутствуют, должны быть таковы, как это следует из теории “воображаемой материи” действующей на расстоянии. Предположения этой теории непохожи на наши, но результаты - идентичны» (Maxwell, [1861], p.174).

От себя мы могли бы добавить, что речь идет об одном из первых применений «принципа соответствия», когда некоторые выводы «новой» теории переходят в предельном случае в выводы теории «старой».

В итоге, «мы уже показали, что все силы, действующие между магнитами, веществами способными к магнитной индукции, и электрическими токами, могут быть механически объяснены, исходя из предположения, что окружающее вещество помещено в такое состояние, в котором в каждой точке давления отличаются друг от друга в разных направлениях, причем направление наименьшего давления является наблюдаемой силовой линией» (Maxwell, [1861], p.281).

Далее, «подобное состояние стресса, если мы предположим, что оно существует в веществе и устроено в соответствии с известными законами, регулирующими силовые линии, будет действовать на магниты, токи и т.д. в поле в точности теми же итоговыми силами, как те, которые рассчитаны при помощи обычных гипотез прямого действия на расстоянии» (Maxwell, [1861], p.282).

Итак, предположим вместе с Максвеллом, что все пространство заполнено замкнутыми сферическими вращающимися ячейками с чрезвычайно малой, но конечной плотностью. Если ячейка вращается, то центробежная сила заставляет ее разбухать на экваторе и сжиматься вдоль оси вращения. Но ее соседи тогда будут оказывать на нее обратное давление, противодействуя дальнейшему расширению (подробнее см. Mahon, 2002). И

если все ячейки вращаются в одном и том же направлении, то все содержащее их вещество в целом должно оказывать *давление* в направлениях, перпендикулярных осям вращения ячеек.

Но вдоль осей вращения должно происходить нечто прямо противоположное. Ячейки будут стараться сжаться по этим направлениям, и в результате должно возникнуть не давление, а *напряжение*. Поэтому если оси вращения выстроены вдоль силовых линий, то последние должны будут вести себя как «фарадеевские силовые линии», испытывая сокращение вдоль самих себя и отталкивание по всем другим направлениям.

Правда, если ячейки занимают все пространство, как они сосуществуют с обычной материей? Что заставляет ячейки вращаться? – Максвелл не слишком утруждает себя ответами на такого рода «детские» вопросы – модель есть модель.

Далее, направления вращения ячеек указывают направление магнитного поля в каждой точке; плотность ячеек и скорость вращения определяют напряженность магнитного поля.

Особая проблема вихревой модели, волновавшая еще выдвинувшего эту идею в XVIII в. Даниила Бернулли (подробнее см.: Whittaker, 1910) – каким образом вращение передается от одной ячейки к другой так, чтобы каждая последующая ячейка вращалась в ту же сторону, что и предыдущая. Для этого, понял Максвелл, необходимо сделать еще одно допущение – предположить, что каждая ячейка окружена тонким слоем мелких частиц, получивших в механике название «колеса холостого хода» (idle wheels). Нельзя ли каким-то образом связать движение этих холостых частиц с проблемами электричества?

И во второй части статьи [III], которая была озаглавлена «*Применение теории магнитных вихрей к электрическим токам*» Максвелл подходит к **тяжелейшей проблеме своей исследовательской программы** – как «физически связаны эти вихри с электрическими токами, - в то время как мы все еще находимся в сомнениях относительно *природы электричества* –

является ли оно одной субстанцией, двумя субстанциями, или вообще не субстанцией; как оно отличается от материи, и как связано с ней». Другими словами: *что же такое электрический ток?*

Принципиально важно, что в этом пункте Максвелл осознает *ограниченность* чисто механической модели для описания взаимосвязи явлений электричества и магнетизма и вынужден напрямую **заимствовать элементы теории действия на расстоянии**. Выражаясь языком нашей методологической модели (Нугаев, 1989), Максвелл вынужден приступить к конструированию **гибридных** теоретических моделей, сконструированных из базисных объектов и сочетающих черты принципиально разных, чужеродных теоретических схем.

Это обстоятельство усугубляется тем, что

«я обнаружил величайшие затруднения (great difficulties) в попытках представить существование соседних вихрей в веществе, вращающихся вокруг параллельных осей». И «единственная концепция, которая смогла мне помочь в представлении движения этого рода, - это та, в которой эти вихри разделены слоем частиц» (Maxwell, [1861], p.283).

Таким образом, согласно принятой гипотетической модели, электрический ток должен быть представлен переносом электрически заряженных частиц от одного вихря к другому. В итоге,

«в нашей теории эти частицы *играют роль* (play the part) электричества. Их движение трансляции представляет собой электрический ток, их вращение служит передаче движения от одной части поля к другой, а тангенциальные давления, таким образом введенные в действие, являют собой электродвижущую силу. Концепция частицы, движение которой связано с вихрем совершенным движущимся контактом может показаться несколько *неуклюжей* (awkward). Я не выставляю ее как вид связи, *существующей в природе*, или даже как то, что я с охотой одобрил бы в качестве электрической гипотезы. Но это, тем не менее, - вид связи, который механически понятен (mechanically conceivable) [с точки зрения теории Ампера-Вебера?], и легко исследуем, и он помогает *выявить* (bring out) действительные механические связи между известными электромагнитными явлениями; поэтому я отважусь заявить, что любому, кто понимает временный характер этой гипотезы, она скорее поможет, чем помешает в

его поиске истинной интерпретации этих явлений» (Maxwell, [1861], p.345).

Принципиально важно, что, введя такие абстрактные теоретические объекты как «*частицы электричества*» и «*электрический ток*», представляющий собой перемещение этих частиц, Максвелл значительно отошел от представлений Фарадея. Ведь, согласно Фарадею, электрические заряды должны рассматриваться как «эпифеномены» - как порождения точек окончания силовых линий – не имеющие независимого субстанциального существования. Соответственно, в исследовательской программе Фарадея электрический ток должен рассматриваться не как движение реально существующих заряженных частиц, а как «*ось энергии*».

В этом и коренится вся знаменитая британская «полевая программа», для которой поля первичны, а частицы – вторичны. Собственные открытия Фарадея внесли в нее весьма значительный вклад. Если Эрстед «вывел» магнетизм из электрического тока, то Фарадей – наоборот: вывел электрические токи из магнетизма.

Важность введения гибридной модели Максвеллом трудно переоценить. Оно было равносильно одному из первых признаний в том, что механические объяснения *принципиально неполны* и должны быть дополнены другими. И электрический заряд, и масса не могут быть полностью объяснены механически. Но мы не должны забывать о том, что для Максвелла, из-за его кантианской эпистемологии, отказ от механицизма не составил особой проблемы, также как впоследствии и для Эйнштейна – в силу (частичного) следования эпистемологии Маха. Поэтому подобный эклектизм Максвелла – не временное отступление фанатичного последователя Фарадея. И после 1861г. Максвелл продолжил **введение элементов атомистики Ампера и Вебера в свои теории**. Например, как последователь атомистики, в случае электролиза Максвелл полагал «вполне естественным предположить, что токи ионов являются конвекционными токами электричества, и , в частности, что каждая молекула катиона

заряжена соответствующим фиксированным количеством положительного электричества».

Он столь же одобрительно относился к веберовской теории индуцированного магнетизма, требовавшей существование постоянно намагниченных молекул (Darrigol, 2001). Как будет подробнее показано в дальнейшем, Максвелл принимал амперовские и веберовские молекулярные токи весьма серьезно. Более того, «Трактат об электричестве и магнетизме» содержит целую главу, посвященную улучшению веберовской теории ферромагнетизма, и другую главу, посвященную «электрическим теориям магнетизма, включая веберовскую теорию индуцированных молекулярных токов (см. также Hertz 1893, p.22).

Вторая часть статьи [II] завершается во вполне кантианском духе утверждением, согласно которому

«мы сейчас показали, каким образом электромагнитные явления могут быть *имитированы воображаемой* системой молекулярных вихрей. Те, кто уже был расположен принять гипотезу такого рода, найдут здесь как **условия** [!], которые должны быть выполнены для того, чтобы придать ей *математическую согласованность*, так и сравнение, вполне удовлетворительное, между ее необходимыми результатами и известными фактами» (Maxwell, [1861], p.347).

Но полученные результаты были, конечно, недостаточными для того, чтобы серьезно конкурировать с теорией действия на расстоянии, в частности, не хватало теоретического воспроизведения основного закона электростатики – закона Кулона. Именно это и было сделано в знаменитой третьей части работы [III], которая и получила заголовок «*Применение теории молекулярных вихрей к статическому электричеству*». Нельзя обойти молчанием тот факт, что третья часть была написана Максвеллом летом 1861г. «в деревне» - в поместье , - где у него не было под рукой научных журналов – в частности, с данными измерений Вебера и Кольрауша, - что впрочем сыграло позитивную роль. Опубликована она была только в январе 1862г., после восьмимесячного перерыва.

Но вернемся к началу третьей части статьи [II], в которой сам автор связывает ее с предыдущими частями, объясняя мотивы ее появления следующим образом:

«В первой части этой статьи (*Phil. Mag., March 1861*) я показал, каким образом силы, действующие между магнитами, электрическими токами и материей, способной к магнитной индукции, могут быть рассмотрены исходя из гипотезы, что магнитное поле оккупировано бесчисленным количеством вихрей вращающейся материи, оси которых совпадают с направлениями магнитной силы в каждой точке.

Центробежная сила этих вихрей производит давления, распределенные так, что конечный результат – это сила, идентичная по направлению и величине с той, которую мы наблюдаем.

Во второй части (*Phil. Mag., April and May 1861*) я описал *механизм*, посредством которого эти вращения могут быть сделаны сосуществующими друг с другом и распределенными в соответствии с известными законами магнитных силовых линий» (Maxwell, [1861], p.12).

Важно, что модель вихря содержала слишком много искусственных предположений (допущений) *ad hoc*, введенных специально для того, чтобы утвердить существование вихрей. И тут мы подошли к «чуду Максвелла», которое вне всякого сомнения оказало на Максвелла сильное воздействие. Оно укрепило его веру в том, что он находится на правильном (истинном) пути, а не просто строит очередную аналоговую модель, которая позволяет иначе описать и без того известные явления. Оказалось, что если мы, в процессе встречи френелевской оптики и теории электромагнетизма перенесем одни свойства эфира из оптики в теорию электромагнетизма, то мы избавимся по меньшей мере от одного предположения *ad hoc*. В самом деле,

«я не пытался объяснить это тангенциальное действие [этих частиц], но необходимо предположить, для объяснения передачи вращения от внешних к внутренним частям каждой ячейки, что вещество в ячейке обладает упругостью формы (*elasticity of figure*), сходной по природе, хотя и отличающейся по степени от той, которая наблюдается у твердых тел. Волновая теория света заставляет нас признать именно этот вид упругости в светоносном веществе – для того, чтобы объяснить поперечные колебания. Поэтому мы не должны удивляться, если магнито-

электрическое вещество обладает теми же самыми свойствами.

Согласно нашей теории, частицы, заполняющие промежутки между ячейками представляют собой материю электричества. Движение этих частиц образует электрический ток; тангенциальная сила, с которой эти частицы сдавливаются материей ячеек, является электродвижущей силой, а давление частиц друг на друга соответствует натяжению или потенциалу электричества» (Maxwell, [1861], p.13).

Это обстоятельство имеет принципиальное значение для разрабатываемого Максвеллом нейтрального языка наблюдений.

«Если мы сможем теперь объяснить состояние тела по отношению к окружающему веществу, когда говорится, что оно «заряжено» электричеством, и объяснить силы, действующие между наэлектризованными телами, то мы сможем тем самым установить *связь* между всеми феноменами электрической науки» (Maxwell, [1861], p.13).

Далее, отмечает Максвелл, если существует разница в натяжениях между различными частями любого тела, то электричество протекает, или стремится протечь, от мест с большим натяжением к местам с меньшим натяжением. Если рассматриваемое тело – проводник, будет иметь место действительное прохождение электричества.

Но если перед нами изолятор, то, несмотря на то, что электричество течь по нему не может, электрические эффекты и их распространение все же могут иметь место. В данном отношении проводник может быть уподоблен пористой мембране, которая оказывает сопротивление прохождению жидкости через нее; в то время как диэлектрик аналогичен эластичной мембране, которая для жидкости непроницаема, но позволяет передавать давление из одной части в другую.

Действующая на диэлектрик электродвижущая сила поляризует его части подобно поляризации железных опилок под воздействием магнита, приводя к тому, что каждая железная частица становится обладательницей двух полюсов, направленных в противоположные стороны. Поэтому в диэлектрике под воздействием индукции электричество в каждой молекуле смещается таким образом, что одна сторона оказывается заряженной



положительно, а другая – отрицательно. Тем не менее, электричество всецело остается в пределах молекулы, и не перетекает от одной молекулы к другой.

«В результате этого воздействия на весь диэлектрик возникает общее *смещение* электричества в определенном направлении. Это смещение не доходит до тока, поскольку, как только оно достигнет определенного значения, оно остается постоянным, но это - начало тока...» (Maxwell, [1861], p.14).

В итоге если  $h$  – смещение,  $R$  – электродвижущая сила, а  $E$  – коэффициент, зависящий от природы диэлектрика, то  $R = -4\pi E h$ . Величина электрического тока из-за смещения  $g$  будет определяться из выражения  $g = \frac{dh}{dt}$ .

«Эти соотношения не зависят ни от какой теории внутреннего механизма диэлектриков; но когда мы найдем электродвижущую силу, образующую электрическое смещение в диэлектрике, и когда мы найдем диэлектрик, освобождающийся от его состояния электрического смещения с равной электродвижущей силой, тогда мы придем к сравнению этого явления с упругим телом, которое поддается давлению и возвращает первоначальную форму тогда, когда давление устранено» (Maxwell, [1861], p.14).

Для дальнейшего изложения существенно следующее замечание Максвелла, сделанное им в процессе развертывания теории молекулярных вихрей.

«В последующем я рассмотрел отношение между смещением и той силой, которая его производит, в предположении, что ячейки являются сферическими. Действительная форма ячеек *возможно* [!] не настолько значительно отличается от сферической для того, чтобы привести к большим отличиям в численном результате» (Maxwell, [1861], p.14).

Этот результат был необходим Максвеллу

«для получения соотношения между статической и динамической мерами электричества, и показал, при помощи сравнения электромагнитных экспериментов М.М.Кольрауша и Вебера со скоростью света, найденной М.Физо, что эластичность магнитной среды в воздухе – та же самая, что эластичность светонесущей среды, если только эти две сосуществующие, одинаково протяженные и одинаково эластичные среды не одна и та же среда» (Maxwell, [1861], p.14).

Введение тока смещения потребовало изменения системы уравнений, полученных Максвеллом ранее, что и выразилось в доказательстве следующей теоремы (proposition XIV): скорректировать уравнения для электрических токов [уравнения (9) в обозначениях Максвелла] с учетом эластичности среды. Продифференцировав приведенное выше выражение для электродвижущей силы смещения по  $t$ , получим выражение

$$\frac{dR}{dt} = -4\pi E^2 \frac{dh}{dt},$$

показывающее, что когда электродвижущая сила изменяется, электрическое смещение также изменяется. Но изменение смещения эквивалентно току, и этот ток должен быть добавлен в правую часть полученного ранее закона Ампера. В итоге три  $(x,y,z)$  компоненты вектора тока будут выглядеть следующим образом:

$$p = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz} - (1/E^2) \frac{dP}{dt} \right];$$

$$q = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx} - (1/E^2) \frac{dQ}{dt} \right];$$

$$r = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy} - (1/E^2) \frac{dR}{dt} \right],$$

где  $p, q, r$  – это компоненты вектора электрического тока в направлениях  $x, y, z$ ;  $\alpha, \beta, \gamma$  – компоненты вектора магнитного поля, а  $P, Q, R$  – компоненты электродвижущей силы. Тогда, если  $e$  – количество свободного электричества в единице объема, то уравнение непрерывности будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{dp}{dx} + \frac{dq}{dy} + \frac{dr}{dz} + \frac{de}{dt} = 0$$

Продифференцировав полученное выше выражение для  $p, q, r$  по  $x, y, z$  и подставив результаты в уравнение непрерывности, получим:

$$\frac{de}{dt} = \frac{1}{4\pi E} \frac{d}{dt} \left[ \frac{dP}{dx} + \frac{dQ}{dy} + \frac{dR}{dz} \right],$$

откуда 
$$e = \frac{1}{4\pi E^2} \left[ \frac{dP}{dx} + \frac{dQ}{dy} + \frac{dR}{dz} \right],$$

Последняя формула нужна Максвеллу для того, чтобы доказать следующую теорему (proposition XV) : найти силу, действующую между двумя наэлектризованными телами. Используя выражения для энергии, возникающей в среде в результате смещения, а также соответствующие выражения для электрического напряжения, Максвелл получает

$$F = \frac{-E^2 e_1 e_2}{r^2},$$

т.е. искомая сила есть отталкивание, изменяющееся обратно

пропорционально квадрату расстояния между двумя наэлектризованными телами.

Таким образом, распространение теории молекулярных вихрей на явления электростатики оказалось возможным именно из-за учета упругости вихрей, которые делают магнито-электрическую субстанцию способной поддерживать волны упругости.

Определенная ранее в теореме XIII величина E оказывается коэффициентом, на который должно быть умножено выраженное в магнитных единицах количество электричества для того, чтобы получить число, выражающее то же самое количество электричества, но в электростатических единицах. Вебер и Кольрауш нашли, что  $E = 310\,740\,000\,000$ .

Все это необходимо Максвеллу для того, чтобы доказать теорему XVI: найти скорость распространения *поперечных* колебаний через упругую среду, из которой состоят ячейки, в предположении, что ее упругость целиком обусловлена силами, действующими между парами материальных точек.

Если среда – упругая, то в ней должны распространяться волны упругости. Рассмотрим плоскую волну, распространяющуюся в поле со скоростью  $V$  в направлении, заданном единичным вектором  $w$  (l,m,n). В этом случае все электромагнитные величины будут функциями  $w = lx+my+nz - Vt$ .

Можно показать, что скалярное произведение двух векторов  $(\mu\mathbf{H}\mathbf{w}) = 0$ , т.е. что вектор  $\mu\mathbf{H}$  перпендикулярен вектору  $\mathbf{w}$ , что означает, что «направление намагничивания» лежит в плоскости волнового фронта. Решая уравнения Максвелла для случая  $\mathbf{J} = 0$ ,  $\mathbf{v} = 0$ , мы получаем волновое уравнение  $k\mu H_x - 4\pi\mu \partial^2 \mu H_x / \partial t^2 = 0$  на компоненту  $H_x$  и аналогичные уравнения на компоненты  $H_y$  и  $H_z$ . Учитывая, что  $H_x = H(w)$ , мы имеем  $k \mu d^2 H_x / dx^2 = 4\pi\mu^2 V^2 2 d^2 H_x / dw^2$ , откуда  $V = \pm \sqrt{k/4\pi\mu}$ .

«Эта волна целиком состоит из магнитных возмущений, и при этом направление магнетизации находится в плоскости волны. Ни одно магнитное возмущение, направление которого не находится в плоскости волны, вообще не может распространяться в качестве плоской волны. Поэтому магнитные возмущения, распространяющиеся через электромагнитное поле, похожи на свет в том, что их распределения в любой точке поперечны по отношению к направлению распространения, и такого рода волны могут обладать всеми свойствами поляризованного света».

Применяя «обычные методы теории упругости», Максвелл находит, что скорость распространения этих колебаний в воздухе или в вакууме  $V=E = 193,088$  миль в секунду. При этом, согласно опытам Физо, скорость света в воздухе равна 195,647 миль в секунду. Таким образом,

«скорость поперечных колебаний в нашей гипотетической среде, подсчитанная из электромагнитных экспериментов М.М. Кольрауша и Вебера, **настолько точно совпадает со скоростью света**, подсчитанной из оптических экспериментов М. Физо, что мы едва ли сможем избежать вывода о том, что свет состоит из поперечных колебаний *той же самой среды*, которая является причиной электрических и магнитных явлений» (Maxwell, [1861], p.19).

В итоге Максвелл не объяснил – откуда берутся, как генерируются электромагнитные волны. Он лишь показал, что его эластичная вихревая среда способна распространять электромагнитные волны со скоростью, которую можно подсчитать из электромагнитных констант и которая весьма и весьма близка к скорости света.

К сказанному выше можно также добавить, что в последней, четвертой части статьи [II], опубликованной в 1862г. и посвященной объяснению эффекта поворота плоскости поляризации света в магнитном поле, Максвелл подчеркивает следующее обстоятельство.

«Теория, согласно которой электрические токи линейны, а магнитные силы представляют собой вращательные явления, согласуется с теорией Ампера и Вебера; а гипотеза, согласно которой магнитные вращения существуют там, где распространены магнитные силы, и что центробежная сила этих вращений объясняет магнитные притяжения, и что инерция вихрей объясняет индуцированные токи, поддерживается мнением проф. В. Томсона. Фактически я пришел к теории молекулярных вихрей развитой в этой статье, смотря в том же направлении, в котором *все эти исследователи*, изучающие действие среды, искали объяснение электромагнитных явлений» (Maxwell, [1861], p.505).

Таким образом, первоначально максвелловская вихревая модель утверждала, что ось оптического вращения всегда должна быть направлена вдоль магнитного поля. Но в то же самое время Эмиль Верде, исследуя экспериментально тот же процесс для солей железа, обнаружил диаметрально противоположный результат: вращение в направлении диаметрально противоположном направлению магнитного поля. Поэтому Максвелл вынужден был предложить объяснение, соединяющее его модель с **веберовскими** молекулярными токами! Что неудивительно, если всерьез отнестись к тезису, сформулированному в начале нашего исследования: что Максвелл с самого начала не рассматривал свой подход и подход Ампера-Вебера как **взаимосключающие** направления.

Но вернемся к результатам третьей части статьи [II]. Введение тока смещения было следствием попыток Максвелла связать уравнения, относящиеся к электрическому току, с уравнениями электростатики, что потребовало модификации закона Ампера за счет введения **нового** члена, описывающего упругость вещества, из которого состоят вихри. В итоге импульс, побудивший Максвелла ввести ток смещения, все-таки лежал в попытках **объединить** все основные эмпирические законы, относящиеся к

области явлений электричества и магнетизма, а также **оптики**, откуда свойство упругости эфира и было перенесено.

Важно отметить, что данное объяснение не противоречит т.н. «стандартному подходу» (Пайерлс, 1968 ; Шапиро, 1972), согласно которому уравнение, содержащее ток смещения, было получено вследствие избавления от противоречивости уравнений Максвелла. В самом деле, в результате усилий, отраженных в статьях [I] и первой и второй частях статьи [II], Максвелл получил следующую систему уравнений:

$$\text{закон Кулона } \operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho \quad (*);$$

$$\text{закон Ампера } \operatorname{rot} \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{J} \quad (**); \quad (\text{M-2})$$

$$\text{закон Фарадея } \operatorname{rot} \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (***);$$

$$\text{отсутствие магнитных полюсов } \operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (****);$$

$$\text{уравнение непрерывности } \operatorname{div} \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (*****),$$

демонстрирующее, что электрически заряженные частицы, передающие вращение от одного вихря к другому, не возникают и не исчезают.

Согласно стандартному подходу, к лету 1861г. Максвелл понял, что эта система уравнений неполна и плохо согласуется друг с другом. Прежде всего, в законе Ампера – в уравнении (\*\*) – член  $\operatorname{rot} \mathbf{H}$ , по своей математической структуре, является недивергентным, поскольку для любого вектора справедливо соотношение  $\operatorname{div} (\operatorname{rot} \mathbf{A}) = 0$ . Но тогда и  $\operatorname{div} \mathbf{J} = 0$ , что противоречит уравнению непрерывности. Понятно, что если мы добавим к правой части закона Ампера (\*\*) выражение для тока смещения  $\partial \mathbf{D} / \partial t$ , самосогласованность уравнений Максвелла будет обеспечена.

Но это – лишь математическое выражение согласованности теоретических схем, которое имеет смысл только относительно некоторой идеализированной модели, сводящей воедино различные предметные области. Иначе возникает вопрос : относительно каких объектов система уравнений Максвелла должна быть согласована? Высказывания о

согласованности или рассогласованности какой-либо системы уравнений имеют смысл только тогда, если они относятся к одним и тем же теоретическим объектам. В противном случае мы всегда можем избавиться от рассогласованности, утверждая, что одни уравнения относятся к одним случаям, а другие – к другим. Для того, чтобы сравнивать выводы законов Фарадея, Кулона, Ампера и др. между собой, их надо сначала сформулировать на одном и том же **теоретическом языке**, гарантирующем, что данные законы описывают однородные в онтологическом отношении ситуации. В этом смысле механические модели действительно помогли Максвеллу создать **единое описание электричества, магнетизма и оптики**.

Как отмечает Д. Сигел, «если бы Максвелл думал только о непротиворечивости своей системы уравнений, он так бы об этом и написал». Но та цель, которую он имел в виду – это объединение электростатики, магнитостатики, магнитодинамики и электродинамики в единое целое на основе теории молекулярных вихрей; поэтому и все математические преобразования он и выделил в особые разделы – в особые теоремы (propositions), - которые отличаются от самой модели. Его интересовали не столько непротиворечивые уравнения, сколько **непротиворечивая модель** реально протекающих процессов.

Но на самом деле правильнее было бы сказать, что **Максвелл положил начало не столько объединению электродинамики и теории магнетизма, сколько объединению британской и континентальной традиций – полевой и корпускулярной традиций рассмотрения электромагнитного взаимодействия**. Несмотря на то, что сам Максвелл был бы, возможно, не в восторге от того, что впоследствии сделали с его электродинамикой О. Хевисайд и Г. Лоренц, согласно Лоренцу заряды и поля – две **одинаково независимые** сущности электромагнитных процессов. Очень возможно, что под влиянием Фарадея Максвелл в большей мере склонялся к первичности поля по отношению к веществу – в полную противоположность немецким теоретикам Веберу и Нейману, хотя и

непросто найти в его работах прямые указания на предпочтение именно этой точки зрения. И она, к тому же, плохо согласуется с его кантианскими наклонностями.

Но это все – наши гипотезы. А суровая реальность – это статья [II], изобилующая диаграммами и многочисленными упоминаниями о заряженных частицах, которые и переносят вращательные колебания от одного вихря к другому, и образуют электрический ток, и переносят электромагнитные волны и т.д. и т.п. Как позже язвительно отмечал Пьер Дюгем (правда, в своей книге о работах ученика Максвелла – британского физика Оливера Лоджа)

«мы надеялись попасть в мирную и строго упорядоченную обитель дедуктивного разума, а попали на какой-то завод» (цит. по: Тулмин, 1984, С.247).

Более того, как показал Сигел, в теории 1861г. Максвелл рассматривал свет в традиционном для XIX в. духе – как торсионные волны в эфире. Но у него они отличны от смещений и натяжений, соответствующим электрическим и магнитным полям. Магнитные и электрические поля соответствуют колебаниям небольших, локальных участков эфира, в то время как поперечные торсионные волны соответствуют колебаниям гораздо больших по размерам участков.

В итоге, основным достижением статьи [II] некоторым современникам Максвелла представлялось утверждение, согласно которому «свет состоит в поперечных колебаниях той же среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений». Но и этот результат выглядел достаточно сомнительным. Как отмечает Сигел, Максвелл не приводит точных расчетов близости его вычислений скорости магнитоэлектрических колебаний тем измерениям, которые Физо проделал для скорости света.



«Проделав эти расчеты, мы находим, что два этих числа отличаются только на 1,3%. Совпадение довольно большое – фактически, *слишком большое*, как отметили бы скептики» (Siegel, p. 136).

Основная аппроксимация, сделанная Максвеллом в его расчетах, состояла в аппроксимировании вихревых ячеек в некоторых случаях сферическими поверхностями; в некоторых других случаях Максвелл утверждал, что формы ячеек значительно отклоняются от сферичности. Например, рассчитывая движения маленьких частиц, Максвелл предполагал, что каждая из них должна всегда находиться в контакте с двумя поверхностями соседних ячеек. Это предполагает, что ячейки заполняют все пространство, за исключением тех его областей, которые заняты самими частицами; об этом же говорит использование соответствующих уравнений в II, описывающих процесс распространения волн. Понятно, что в этих случаях размеры ячеек должны значительно отличаться от сферической симметрии, и все вычисления, основанные на допущениях сферической симметричности, должны рассматриваться как приближения (аппроксимации).

Более того, при подсчете давлений в веществе, приводящих к магнитным силам, Максвелл рассматривал вихревые ячейки в качестве круговых цилиндров, что, конечно, было другим отклонением от сферической формы. Сам Максвелл полагал, что подобные аппроксимации были «вероятно разумны», приводя к результату, который «ненамного отличается от правильного». Но когда уже современный исследователь, американский историк науки Д. Сигел рассчитал разницу в аппроксимации сферы цилиндром, описанным вокруг нее, он получил, что результаты будут отличаться в 1,5 раза.

Кроме этой аппроксимации, в которой он отдавал себе отчет, Максвелл, как отмечал еще П. Дюгем, сделал по меньшей одну явную ошибку в расчетах. Проблема была связана с константами упругости вещества, так что из уравнения для скорости волны выпал фактор 2. Если мы

примем во внимание описанные выше обстоятельства, мы должны будем заключить, что отношение  $m/\rho_m$  должно отличаться от максвелловского в 3-4 раза, а корень квадратный из него – в 2 раза. Поэтому Максвеллу невероятно повезло, что он все-таки получил правильное выражение для скорости распространения поперечных колебаний в эфире. Судя по всему, он, как впоследствии и Эйнштейн (в 1905) при рассмотрении явления синхронизации часов, просто выбрал самое простое соотношение, связывающее скорость электромагнитных возмущений со скоростью света. Но все его выкладки не были строгим доказательством, поскольку они явно основывались на расчетах, справедливых только относительно сконструированных (гибридных) моделей. Строго говоря, его расчеты доказывали то, на чем они были основаны: что электромагнитный и светоносный эфиры – одно и то же вещество.

На чем же основывалась его вера ? – Отчасти - на интуиции. Как говаривал о Максвелле еще его кембриджский наставник (тьютор) Хопкинс, «этот человек просто не может думать о физических предметах неверно».

Это тем более характерно для творчества Максвелла, если учесть, что он и сам осознавал важную роль, которую подсознательное играло в его творчестве. В самом деле,

«я верю в то, что где-то в человеческом сознании есть отдел, управляемый независимо от рассудка, где вещи [идеи, духовные образования] подвергаются брожению и отвариваются до тех пор, пока они при появлении на свет не станут ясными» (Максвелл, цит. по : Mahon, 2003, p.95). Или, как он признавался в другом месте и по другому поводу, «то, что делается тем, что я называю самим собой, делается, как я это чувствую, чем-то большим чем я сам во мне» ( Mahon, 2003,p.173).

Еще весной 1854г., в еще одном эссе «Имеет ли все прекрасное в Искусстве свой оригинал (прообраз) в Природе?» Максвелл резюмировал :

«Ничто прекрасное не может быть произведено человеком за исключением законов сознания, действующих в нем в соответствии с принципами, предопределенными Природой; поэтому та разновидность прекрасного, которую он может таким образом достигнуть, должна быть

ограничена незначительным числом соотносительных наук, которые он сотворил; но поскольку Теоретическая способность и способность воображения находятся далеко впереди Разума, он *может схватить (apprehend) и творчески воспроизвести природную красоту более высокого порядка, чем тот, который наука может достичь* (Maxwell, цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p. 133).

Одним из основных недостатков гипотезы «тока смещения» было отсутствие ее независимых экспериментальных подтверждений. Определенный выход из ситуации состоял в попытках сделать такие выводы из новой теории молекулярных вихрей, которые можно было бы подтвердить экспериментально. И Максвелл вывел два таких следствия: первое относилось к индексу преломления диэлектрика, а второе – к описанному выше вращательному эффекту Фарадея. Первое предположение было подтверждено в 1870-х гг. (Максвелл даже обращался к Фарадею и Томсону за помощью), а второе потребовало для своего подтверждения модификации, выходящей далеко за пределы максвелловской электродинамики (в область лоренцевской теории электронов и эффекта Зеемана).

Среди возможных причин, побудивших Максвелла ввести ток смещения, в учебно-методической литературе до сих пор (вслед за Хевисайдом) обсуждается симметрия уравнений (M-1) по векторам **E** и **H**. Если  $\mathbf{j} = 0$ , то эти уравнения переходят друг в друга при замене  $\mathbf{E} \rightarrow -\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{H} \rightarrow \mathbf{E}$ . Этот вопрос подробно рассматривался в статье Борка (1968), справедливо отметившего, что *ни текст максвелловских работ [I] - [IV], ни другие его публикации не дают никаких оснований утверждать, что ток смещения введен для придания уравнениям указанной симметрии*. Представляется невероятным, что Максвелл, вводя ток смещения по соображениям симметрии, ни разу не обратил внимание читателя на эту симметрию.

В итоге, наиболее важный результат предложенной Максвеллом системы уравнений состоял в «упрочении возможности того, что электромагнитные волны могут распространяться со скоростью, которая может быть подсчитана при помощи результатов чисто электрических

измерений» (Sengupta & Sarkar, 2003, p.16). Важно подчеркнуть, что ни в одной из своих работ Максвелл ничего не написал *ни о возможности генерации света, ни о том, что могут существовать другие, не световые электромагнитные волны подобные радиоволнам или рентгеновскому излучению.*

**В итоге ни о каком окончательном объединении электричества, магнетизма и оптики в 1861г. не приходилось и говорить.** Можно было уверенно заявлять лишь о **начале** согласования – взаимопроникновения френелевской оптики, фарадеевской концепции поля и ампер-веберовской электродинамики друг в друга, ставшем возможным за счет конструирования системы теоретических объектов из базисных объектов всех трех упомянутых программ. Представляется, что именно это и имел в виду Генрих Герц, когда в докладе на 62 съезде германской ассоциации содействия развитию естественных наук и медицины в Гейдельберге в 1889г. отмечал, что именно Максвелл был тем «человеком, который смог соединить эти столь удаленные друг от друга предположения таким образом, что они стали **взаимно поддерживать друг друга**» (Hertz, 1889, p.318).

Еще Уиттекер (1910) отмечал, что самым заметным недостатком представленной Максвеллом версии электромагнитной теории света было отсутствие объяснения явлений отражения и преломления света.

И сам Максвелл не очень доверял своим уравнениям в случаях высокочастотных колебаний в материальных телах. В диэлектриках, например, эти уравнения не объясняли явления оптической дисперсии и давали соотношение между показателем преломления света и индуктивностью, которое выполнялось только в первом приближении. В проводниках уравнения Максвелла предсказывали гораздо большее поглощение света, чем наблюдалось на самом деле (золотые листья). В этих случаях Максвелл заключал, что «наши теории структуры тел должны быть улучшены прежде чем мы можем вывести их оптические свойства из их электрических свойств».

Ток смещения сыграл лишь роль **спускового крючка**, запустившего механизм объединения оптики и теории электромагнетизма, «существенного параметра объединения», по терминологии М. Моррисон, или «гибридного объекта» по нашей терминологии. Несмотря на то, что в последующих стадиях развертывания теории эфир был отброшен, ток смещения остался как звено, объединявшее оптику и теорию электромагнетизма. Правда, статус его после инкорпорирования в лагранжеву систему значительно изменился.

Проникновение электромагнетизма в оптику выразилось в нахождении связи констант, полученных Вебером и Кольраушем, со скоростью света. Обратное проникновение оптики в электромагнетизм выразилось как в предсказании радиоволн, так и в связанных с ними эффектах интерференции и диффракции. Как отмечал в статье «Эфир» Максвелл,

«мы поэтому и заключаем, что свет – это не вещество, а процесс, имеющий место в веществе» (Maxwell [1877], 1890, p.765).

Вот как сам Максвелл описывает суть своего открытия в письме Майклу Фарадею от 19 октября 1861г.

«Дорогой сэръ,  
в последнее время я изучал теорию статической электрической индукции и пытался сформировать механическую концепцию роли, которую играют частицы воздуха, стекла, или других диэлектриков в электрическом поле, конечный результат которой – притяжение и отталкивание “заряженных” тел.

Концепция, на которую я наткнулся, привела меня, будучи разработанной математически, к некоторым очень интересным результатам, способным проверить на опыте мою теорию, и показывающим численные соотношения между оптическими, электрическими и электромагнитными явлениями, которые я вскоре надеюсь более основательно подтвердить...

Моя теория эластичных сил состоит в том, что они вызываются в изоляторах небольшими электрическими смещениями; последние деформируют определенные малые порции вещества так, что сопротивление этому процессу со стороны эластичности вещества и создает электродвижущую силу...

Я предполагаю, что эластичность этой сферы воздействует на окружающую ее электрическую материю, и толкает ее вниз. Из результатов исследований Кольрауша и Вебера, относящихся к численному отношению

между статическими и магнитными эффектами, я определил эластичность вещества в воздухе, и, **предположив**, что в светоносном эфире она та же самая, я определил скорость распространения поперечных колебаний.

Результат – 193,088 миль в секунду (как это следует из электрических и магнитных экспериментов). Определенная Физо из прямого эксперимента скорость света = 193,118 миль в секунду.

Это – не просто численное совпадение. Я разработал эти формулы в деревне прежде, чем увидел веберовские числовые результаты, которые даны в миллиметрах, и я полагаю, что мы имеем весомую причину, вне зависимости от того, является ли моя теория фактом или нет, верить в то, что светоносный и электромагнитный эфиры – это одно и то же» (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, pp.748-749).

Дальнейший прогресс должен был состоять – и не мог не состоять – в доказательстве большей всеобщности полученных результатов и в попытке уйти от сконструированных искусственных моделей. Именно это Максвелл и попытался сделать в течение трех лет, прошедших после публикации [II].

В письме своему старому кембриджскому товарищу (Henry R.Droop, декабрь 1861), написанному как раз перед публикацией знаменитой третьей части статьи о молекулярных вихрях, Максвелл отмечал, что

«я сейчас пытаюсь найти точную математическую форму для всего того, что известно об электромагнетизме, без помощи гипотезы» (цит. по Siegel, 2000, p.145).

И в 1864 Максвелл уже представляет усовершенствованный вариант статьи [II], который на этот раз уже не зависел от модели молекулярных вихрей. Хотя на словах он не отказывался от самой модели, он старался избегать, насколько это было возможно, каких-либо **детализаций** устройства и взаимосвязи молекулярных вихрей - начиная с [III] и заканчивая *«Трактатом об электричестве и магнетизме»*. Правда, что касается теоретического воспроизведения «эффекта Фарадея», он в молекулярном механизме все-таки нуждался, хотя и вынужден был делать следующую оговорку:

«теория, предложенная на предыдущих страницах, с очевидностью носит *временный* характер, основываясь на неподтвержденных гипотезах как о

природе молекулярных вихрей, так и о способах, при помощи которых они связаны со смещением среды» (цит. по : Siegel, 2000, p. 157).

Или, как сообщал Питеру Тэту сам Максвелл в письме от 23 декабря 1867,

«теория вихрей... сконструирована так, чтобы показать, что явления таковы, как может быть объяснено при помощи механизма. Природа этого механизма относится к истинному механизму так же, как планетарий относится к самой солнечной системе» (цит. по : Siegel, 2000, p. 200).

Тем самым Максвелл справедливо охарактеризовал весь аппарат молекулярных вихрей как демонстрационную – или «рабочую - модель» (на языке «Трактата об электричестве и электромагнетизме»).

### **Резюме третьей главы.**

Проведенных в статье 1856г. исследований оказалось недостаточно для того, чтобы охватить всю область известных электромагнитных явлений, и в 1861г. Максвелл начинает публикацию в четырех частях в журнале “*Philosophical Magazine*” второй статьи, посвященной проблемам электричества и магнетизма – «*О физических силовых линиях*». Название ее первого раздела говорит само за себя : «*Применение теории молекулярных вихрей к явлениям магнетизма*». Его цель – переполучить результаты теорий Вебера и Неймана, исходя на этот раз из новой, «вихревой» механической модели несжимаемой жидкости.

Но во второй части статьи 1861г., которая была озаглавлена «*Применение теории магнитных вихрей к электрическим токам*», Максвелл подходит к тяжелой проблеме своей исследовательской программы – как «физически связаны эти вихри с электрическими токами». В этом пункте он осознает ограниченность чисто механической модели для описания взаимосвязи явлений электричества и магнетизма и вынужден напрямую заимствовать элементы теории действия на расстоянии. Максвелл вынужден приступить к конструированию гибридных теоретических моделей, сконструированных из базисных объектов и сочетающих черты принципиально разных, чужеродных теоретических схем.

Важность введения гибридной модели Максвеллом трудно переоценить. Оно было равносильно признанию в том, что механические объяснения принципиально неполны и должны быть дополнены другими. И электрический заряд, и масса не могут быть полностью объяснены механически.

Но полученные результаты были, конечно, недостаточными для того, чтобы серьезно конкурировать с теорией действия на расстоянии, в

частности, не хватало теоретического воспроизведения основного закона электростатики – закона Кулона. Именно это и было сделано в знаменитой третьей части работы 1861г., которая называлась «*Применение теории молекулярных вихрей к статическому электричеству*». Оказалось, что если мы, в процессе встречи френелевской оптики и теории электромагнетизма перенесем одни свойства эфира из оптики в теорию электромагнетизма, то мы избавимся по меньшей мере от одного предположения *ad hoc*. Распространение теории молекулярных вихрей на явления электростатики оказалось возможным именно из-за учета упругости вихрей, которые делают магнито - электрическую субстанцию способной поддерживать волны упругости. В итоге Максвелл не объяснил – откуда берутся, как генерируются электромагнитные волны. Он лишь показал, что его эластичная вихревая среда способна распространять электромагнитные волны со скоростью, которую можно подсчитать из электромагнитных констант и которая весьма близка к скорости света.

Введение тока смещения было следствием попыток Максвелла связать уравнения, относящиеся к электрическому току, с уравнениями электростатики, что потребовало модификации закона Ампера за счет введения нового члена, описывающего упругость вещества, из которого состоят вихри. В итоге импульс, побудивший Максвелла ввести ток смещения, все-таки лежал в попытках объединить все основные эмпирические законы, относящиеся к области явлений электричества и магнетизма, а также оптики, откуда свойство упругости эфира и было перенесено.

Максвелл положил начало не столько объединению электродинамики и теории магнетизма, сколько объединению британской и континентальной традиций – полевой и корпускулярной традиций рассмотрения электромагнитного взаимодействия.

Наиболее важное следствие предложенной Максвеллом системы уравнений состояло в «упрочении возможности того, что электромагнитные волны могут распространяться со скоростью, которая может быть подсчитана при помощи результатов чисто электрических измерений». Ни в одной из своих работ Максвелл ничего не написал ни о возможности генерации света, ни о том, что могут существовать другие, несветовые электромагнитные волны подобные радиоволнам или рентгеновскому излучению.

Ни о каком окончательном объединении электричества, магнетизма и оптики в 1861г. не приходилось и говорить. Можно было уверенно заявлять лишь о начале согласования – взаимопроникновения - френелевской оптики, фарадеевской концепции поля и ампер-веберовской электродинамики друг в друга, ставшем возможным за счет конструирования системы теоретических объектов из базисных объектов всех трех упомянутых программ.



## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Завершающие этапы реализации синтетической программы Максвелла.

*Я домарал последнюю главу поэмы именуемой судьбою...*

Равиль Бухараев

*Я начинаю с мгновенного действия на расстоянии: таким образом, мы сможем основать свою теорию на наиболее непосредственной интерпретации наблюдаемых фактов.*

Гендрик Антоон Лоренц

Годы, последовавшие за публикацией [II], отмечены следующим парадоксом. Многие современники Максвелла (и особенно его друг Уильям Томсон) надеялись на то, что дальнейшие шаги в разработке электродинамики будут связаны с совершенствованием вихревой модели, которую он с такой изобретательностью изложил на страницах “Philosophical Journal” и с тем, что он сконструирует, наконец, «истинный механизм» генерации и распространения электромагнитного излучения. Но их ждало полнейшее разочарование. ( Это еще раз подтверждает справедливость больцмановского замечания о том, что большинство физиков-современников Максвелла просто не поняли сути его (кантианской) синтетической программы).

Из многократных заявлений Максвелла следует, что он предполагал, что истинные механизмы действия природных сил находятся далеко за пределами, заданными возможностями нашего понимания. Эти механизмы остаются в секрете, также как устройство колокольни в известном максвелловском примере, когда мы слышим звон и знаем, кем он производится, но не знаем **как** связаны между собой веревки, идущие от звонарей к колоколам.

В работе 1864г. «*Динамическая теория электромагнитного поля*» (III) Максвелл ставит своей целью вывести уравнения электромагнитного поля не из модели, а из принципа наименьшего действия, из лагранжиана, специально сконструированного для электромагнитного поля. Но для этого лагранжиан сначала надо правильно построить, что Максвелл и делает, исходя из определенных «очевидных» умозрительных принципов.

То, насколько обычно сдержанный в оценках, высоко ставил Максвелл эту работу, видно из следующей приписки, сделанной им в письме к одному из своих кузенов:

«у меня в полном разгаре работа над статьей с электромагнитной теорией света, которую, до тех пор пока меня не убедят в обратном, я буду считать *великим оружием (great guns)*» (цит. по : Mahon, 2002, p. 123).

Статья, признанная лучшей из электродинамических работ Максвелла по ясности и компактности изложения, начинается с утверждения о том, что явления света и тепла дают нам основание предполагать, что имеется некая «эфирная среда, заполняющая все пространство и пронизывающая все тела», которая обладает способностью быть приводимой в движение, передавать это движение и сообщать это движение плотной материи. Для этого части этой среды должны быть способны к определенному роду упругого смещения, поскольку передача от одного места к другому требует времени. Поэтому данная среда обладает способностью получать и сохранять два вида энергии – «*актуальную*» энергию, зависящую от движения ее частей, и «*потенциальную*» энергию – работу, которую среда выполняет в силу своей упругости. Распространение колебаний, по Максвеллу, состоит в преобразовании одной из этих форм энергии в другую попеременно.

Фундаментом максвелловых полевых уравнений является на этот раз лагранжева механика вместе с «экспериментальными фактами трех типов» (индукция токов, распределение магнитной интенсивности в соответствии с изменениями потенциала и индукция статического электричества).

«Несмотря на то, что Максвелл провозгласил в качестве основного метода получения своих уравнений дедукцию их из экспериментальных фактов, его вывод все еще требовал **постулирования тока смещения**, что не могло быть ни подтверждено экспериментами, ни выведено из них» (Моррисон, 2000, p.85).

Общие уравнения в дальнейшем применяются к случаю магнитного возмущения, и демонстрируется, что единственные возмущения, которые могут распространяться таким образом, - это возмущения, поперечные к направлению распространения. Максвелл специально отмечает, что концепция распространения поперечных магнитных возмущений с исключением продольных разрабатывалась Фарадеем в его «Мыслях о лучевых вибрациях» (Phil.Mag., май 1846).

«Эта теория света в том виде, в каком она предложена им, является такой же по существу, как и та, которую я развиваю в настоящем докладе, за исключением того, что в 1846 г. не имелось данных для расчета скорости распространения» (Максвелл, [1864], С.263).

Трудно переоценить это максвелловское замечание. Последний здесь ясно указывает на источник своей идеи о том, что свет – это электромагнитные колебания. Это – фарадеевская работа 1846г. (и, возможно, личные контакты с Фарадеем, имевшие место в 1861). Максвелл добавил к ней свою собственную **гипотезу** о том, что скорость распространения электромагнитных колебаний равна скорости света – самое простое из возможных соотношений между скоростью света и скоростью электромагнитных возмущений.

Важно также то, что и в [III] Максвелл вынужден еще и еще раз обратиться к принципиальному моменту, относящемуся к постоянно используемым механическим аналогиям.

«Я имел уже прежде случай ([II]) описать особый вид движения и особый вид напряжения, приспособленных для объяснения этих явлений. В настоящем докладе я *избегаю* какой-либо гипотезы такого рода и, пользуясь такими словами, как электромагнитное количество движения и электрическая упругость в отношении известных явлений индукции токов и поляризации диэлектриков, я хочу только *направить* мысли читателя на

механические явления, которые могут помочь ему понять электрические явления. *Все подобные выражения в настоящей статье должны рассматриваться как иллюстративные, а не как объясняющие...*

*Однако, говоря об энергии поля, я хочу быть понятым буквально.* Всякая энергия есть то же, что механическая энергия, существует ли она в форме обычного движения или в форме упругости, или в какой-нибудь другой форме. Энергия в электромагнитных явлениях – это механическая энергия. Единственный вопрос заключается в том, где она находится?

Согласно старым теориям, она находится в наэлектризованных телах, проводящих цепях и магнитах в форме неизвестного качества, называемого потенциальной энергией или способностью производить определенные действия на расстоянии.

По нашей теории она находится в электромагнитном поле, в пространстве, окружающем наэлектризованные и намагниченные тела, **а также в самих этих телах** и проявляется в двух различных формах, которые могут быть описаны без гипотез как магнитная поляризация и электрическая поляризация, или согласно весьма вероятной гипотезе как движение и напряжение одной и той же среды» (Максвелл, [1864], С.73-74).

Важно то, что здесь Максвелл уже по-другому оценивает соотношения между своей собственной исследовательской программой, и программой Ампера-Вебера. Теперь, в отличие от [II], он усматривает достоинство своей программы не в том, что она дает описание механизма генерации электромагнитного излучения, а в том, что предлагаемый им подход имеет **более общий характер**, описывая энергию не только в самих телах, но и пространстве, которое их окружает.

Но особое значение представляет, конечно, VI часть работы [III], озаглавленная «*Электромагнитная теория света*», где Максвелл не только получает свои уравнения без явного использования тока смещения, но и приходит еще раз к выводу о том, что скорость электромагнитных возмущений в точности равна скорости света, без каких-либо модельных представлений и «разумных физических допущений».

«В начале этого доклада мы пользовались оптической гипотезой упругой среды, через которую распространяются колебания света, чтобы показать, что мы имеем серьезные основания искать *в этой же среде* причину других явлений в той же мере, как и причину световых явлений. Мы рассматриваем электромагнитные явления, пытаюсь их объяснить свойствами

поля, окружающего наэлектризованные или намагниченные тела. Таким путем мы пришли к определенным уравнениям, выражающим определенные свойства электромагнитного поля. Мы исследуем теперь, являются ли свойства того, что составляет электромагнитное поле, выведенные только из электромагнитных явлений, достаточными для объяснения распространения света через *ту же самую* субстанцию (Максвелл, [III], С.317).

Волна магнитных возмущений распространяется в любом направлении со скоростью  $V$ , причем направление намагничивания находится в плоскости волны. Никакое магнитное возмущение, направление намагничивания которого не находится в плоскости волны, вообще не может распространяться как плоская волна. Отсюда магнитные возмущения, распространяющиеся через электромагнитное поле, сходятся со светом в том отношении, что возмущения в любой точке поперечны к направлению распространения, и также волны могут обладать всеми свойствами поляризованного света.

«Совпадение результатов, по видимому, показывает, что свет и магнетизм являются проявлениями свойств одной и той же субстанции, и что свет является электромагнитным возмущением, распространяющимся через поле в соответствии с законами электромагнетизма» (Максвелл, [1864], С.320).

В конце концов, чтобы еще раз в этом убедиться, Максвелл проверяет, «может ли распространяться через эту среду и другой вид возмущений», и еще раз убеждается, что – нет. В итоге он может, наконец, резюмировать полученные в [III] результаты следующим образом (письмо С. Хокину от 7 сентября 1864) :

«Я также очистил электромагнитную теорию света от всех неоправданных предположений, так что мы можем теперь определить скорость света за счет измерения притяжения тел, которые содержатся при заданной разнице потенциала, значение которого дано в электромагнитных единицах» (цит. по : Campbell & Garnett, 1882, p.168).

И, наконец, творчество Максвелла завершает объемный «Трактат об электричестве и магнетизме» (IV), задуманный автором как своеобразная **энциклопедия** явлений электричества и магнетизма. Вполне в духе второй

половины XIX в., наследник традиций не только кантовской эпистемологии, но и контовского позитивизма ставит в качестве своей основной цели, относящейся к явлениям электричества и магнетизма,

« описать наиболее важные из этих явлений, показать, как их можно измерить, и проследить **математические соотношения между измеряемыми величинами**... С математической точки зрения наиболее важной стороной всякого явления является наличие некоторой измеряемой величины. Поэтому я буду рассматривать электрические явления в основном в отношении их измерения » (Максвелл, [1873], 1952, С.345, С.346).

Конечно, энциклопедичностью вклад Максвелла в теорию электромагнетизма не ограничивался. В частности, именно в «Трактате» Максвелл сделал важное предсказание, впоследствии подтвержденное в опытах Лебедева, о том, что электромагнитные волны способны оказывать давление.

Но особый интерес для данной работы представляет подробно описанная Максвеллом эвристическая сторона этого открытия; сопоставление Максвелла – автора [IV] – с Максвеллом – автором [I]– позволяет подтвердить справедливость описанной в данной работе максвелловской методологической позиции: автор был создателем собственной синтетической программы, программы объединения не столько электричества и магнетизма (это очень неплохо сделали до него Ампер и Вебер, а континентальной и британской традиций рассмотрения явлений электричества и магнетизма. Действительно,

«прежде чем начать изучение электричества, я решил не читать никаких математических работ по этому предмету до тщательного прочтения мной «Экспериментальных исследований в области электричества» Фарадея. Я знал, что между пониманием явлений Фарадеем и концепцией математиков предполагалось наличие такой *разницы*, что ни тот, ни другие не были удовлетворены языком друг друга. Я был убежден также, что расхождение это возникало не из-за неправоты какой-либо из сторон. Впервые меня убедил в этом сэр Вильям Томсон» (Максвелл, [1873], 1952, С.348).

Но не только признанием равнозначности британской и континентальной традиций для развития теории электричества и магнетизма интересен рассматриваемый «Трактат», но и оценкой вклада Фарадея и его исследовательской программы:

«приступив к изучению труда Фарадея, я установил, что его метод понимания явлений был *также* математическим, хотя и не представленным в форме обычных математических символов. Я также нашел, что этот метод можно выразить в обычной математической форме и таким образом сравнить с методами профессиональных математиков» (Максвелл, [1873], 1952, С.349).

А теперь сопоставим данный отрывок с хорошо известным введением в [I], где Максвелл одинаково критически отзывается и о математических, и о физических методах исследования, критикуя их за односторонность и ратуя за цельный, синтетический подход. Приведем данный отрывок в силу его важности еще раз:

«для дальнейшего эффективного изучения науки первым делом надо *упростить* и свести результаты предыдущих исследований к такой форме, которую ум может усвоить. Результаты этого упрощения могут принять вид или чисто математической формулы, или физической гипотезы. Но в первом случае мы полностью теряем из виду то явление, которое мы собираемся объяснить; и, несмотря на то, что мы можем проследить следствия из данных законов, мы никогда не сможем получить более широкие представления о *взаимосвязях* рассматриваемого предмета.

Если же, с другой стороны, мы примем физическую гипотезу, мы получим только опосредованный образ явлений, и будем нести ответственность за ту слепоту к фактам и за ту скороспелость в принятии предпосылок, которые этим односторонним объяснением одобряются. Поэтому мы должны открыть такой *метод изучения*, который позволит уму на каждом этапе владеть ясной физической концепцией, не отдавая предпочтения никакой теории, основанной на той физической науке, из которой эта концепция заимствована, так что она ни уводится в сторону от предмета аналитическими тонкостями, ни выходит за пределы истины из-за принятия излюбленной гипотезы » (Maxwell [1856]; 1890, p. 155).

Таким образом, воззрения Фарадея, к тому же выраженные на языке математики, ничем в лучшую сторону не отличаются от воззрений Ампера и Вебера, и также должны быть включены в конструируемую теоретическую

схему лишь в качестве **частного** случая. Здесь налицо попытка использовать своего рода (неявно сформулированный) «*принцип дополненности*». Максвелл понимал, что то, что мы называем «объектами», «силами» и «полями», является нашими попытками отображения некоей реальности, которая непосредственно нашим чувствам недоступна, и может быть строго описана только на математическом языке. Последний может описывать не глобальные, «онтологические» свойства самой реальности, но лишь **отношения** между ее частями.

В «Трактате» Максвелл множит свои усилия в направлении очищения своих результатов от остатков модельного подхода и усиления абстрактной, лагранжевой составляющей. В начале V главы «*Об уравнениях движения системы со связями*» он подчеркивает, что

«то, что я предполагаю сейчас сделать, это исследовать следствия допущения, что явления электрического тока представляют собой явления движущейся системы, причем движение передается от одной части системы к другой при помощи сил, природу и законы которых мы пока даже не будем пытаться определить, т.к. мы можем исключить эти силы из уравнений движения при помощи данного Лагранжем метода для любой системы со связями» (Максвелл, [1873], 1952, С.411).

И далее Максвелл прямо опирается на результаты «*Аналитической механики*» Лагранжа, в которой последний дал метод сведения обычных динамических уравнений движения частей системы со связями к числу, равному числу степеней свободы этой системы, а также на метод теории импульсивных сил, разработанной в «*Натуральной философии*» Томсона и Тэта.

«Я применил этот метод для того, чтобы избежать явного рассмотрения движения каких-либо частей системы за исключением координат или переменных, от которых зависит движение целого» (Максвелл, [1873], 1952, С.413).

Найденные в итоге уравнения Гамильтона, содержащие обобщенные переменные  $q$ ,  $dq/dt$ ,  $p$  и  $dp/dt$ , а также выражения для кинетической ( $T_u$ ) и потенциальной ( $T_p$ ) энергий Максвелл применяет в главе VI для создания



«Динамической теории электромагнитного поля». В последней он исходит из предположения о том, что энергия электрического тока предстает как в той форме, которая определяется «действительным движением материи», так и в той, которая заключается в возможности получать движение в результате наличия сил, действующих между действительно расположенными друг относительно друга телами. Здесь он еще раз подчеркивает, – несмотря на указания Фарадея, – что

«электрический ток нельзя рассматривать иначе, как некоторое кинетическое явление. Даже Фарадей, который постоянно старался освободить свою мысль от влияния тех представлений, которые слишком связаны со словами «электрический ток» и «электрический флюид», говорит об электрическом токе как о движении, а не о расположении... мы достаточно знаем относительно электрических токов для того, чтобы признать в системе материальных проводников, несущих ток, динамическую систему, являющуюся местонахождением энергии, часть которой может быть кинетической энергией, а часть потенциальной. Природа связей частей этой системы нам неизвестна, но, поскольку мы имеем динамические методы исследования, которые не требуют знания механизма системы, мы будем применять их к этому случаю» (Максвелл, [1873], 1952, С.429-430).

Получаемые в итоге «Общие уравнения электромагнитного поля» (гл. IX) еще далеки от т.н. «уравнений Лоренца-Хевисайда», состоя из трех систем уравнений (всего 20 штук). В красноречивом отрывке, приводимом ниже, Максвелл еще раз подчеркивает, что выражение для тока смещения не является само собой разумеющимся результатом, вытекающим естественным образом из основных принципов динамики, а возникает как результат принятия определенной точки зрения.

«Одна из главных особенностей этого трактата состоит в принятии концепции, согласно которой истинный электрический ток  $\mathbf{T}$ , тот, от которого зависят электромагнитные явления, нельзя отождествить с током проводимости, но что должно быть принято во внимание при исчислении общего движения электрического изменения во времени электрического смещения  $\mathbf{D}$ , так что мы должны написать  $\mathbf{T} = \mathbf{\Omega} + \mathbf{D}$  (уравнение истинных токов) или более подробно

$$u = p + \frac{dr}{dt},$$

$$v = q + \frac{dq}{dt},$$

$$w = r + \frac{dh}{dt} \gg (\text{Максвелл, [1873], 1952, С.484}).$$

И в завершающей главе XX, посвященной электромагнитной теории света, содержащей те же результаты, что и работа [III], на первый план выдвигается следующий аргумент в пользу существования электромагнитных волн:

«Заполнять пространство новой средой всякий раз, когда следует объяснять какое-либо новое явления, никоим образом не является истинно философской процедурой. Однако если изучение двух различных отраслей науки независимо друг от друга выдвинуло идею среды и если свойства, которые должны быть приписаны этой среде, исходя из электромагнитных явлений, имеют **тот же** характер, который мы приписываем светоносной среде для объяснения явлений света, то очевидность физического существования такой среды серьезно укрепляется» (Максвелл, [1873], 1952, С.550).

Но важно, что в «Трактате» Максвелл столкнулся с той же проблемой, что и в [III] – проблемой применения лагранжева формализма к электромагнитному полю. Для более ясной формулировки этой проблемы обратимся еще раз к максвелловской аналогии с колокольной. Механизм возникновения электромагнитных колебаний в эфире аналогичен механизму приведения колоколов в движение. Так же как мы не знаем, каким именно образом генерируется электромагнитное излучение, мы не знаем, как именно связаны колокола с веревками.

Но на двадцати с лишним страницах главы своего «Трактата» Максвелл построил лагранжиан, как разность кинетической и потенциальной энергий, только для случая замкнутых токов. Тем не менее при переходе к случаю электромагнитных возмущений в пустом пространстве, требующего токов незамкнутых, он просто «руками» прибавил ток смещения к току

проводимости (подробнее см. Chalmers, 2001). Обосновал он этот шаг следующим образом:

«У нас имеется чрезвычайно мало экспериментальных данных, относящихся к прямому электромагнитному действию токов из-за изменения электрических смещений в диэлектриках, но **крайняя сложность** согласования законов электромагнетизма с существованием электрических токов, которые незамкнуты, является одной причиной из многих, почему мы должны признать существование токов проводимости вызванных изменением смещения. Их важность будет видна, когда мы перейдем к электромагнитной теории света» (Maxwell [1873], 1890, p.252).

Как отмечает Алан Чалмерс, этот небольшой шаг Максвелла фактически подрывал главную притягательность использовавшегося им метода Лагранжа. Неслучайно первое экспериментальное доказательство существования тока смещения было дано только в опытах Герца (1888).

Таким образом, в конце своей последней большой работы, подлинной энциклопедии электричества и магнетизма, Максвелл подытоживает полученные им результаты, суть которых сводится к следующему. Он совершил поистине «коперниково деяние» в теории электричества и магнетизма, тщательно собрав эмпирические и теоретические аргументы для отождествления электромагнитного и светоносного эфиров и создания тем самым **гибридной теоретической модели**, основанной на токе смещения и сводящей воедино теорию электричества, теорию магнетизма и оптику.

В этом плане характерна следующая история. В одной из самых последних научных работ, написанных за несколько дней до смерти, - рецензии на статью своего последователя ирландского физика Джорджа Френсиса Фицджеральда (1851-1901) – Максвелл характеризует свое собственное объяснение эффекта Фарадея (поляризация света в магнитном поле) как «**гибридную теорию**». Последняя сводила воедино «электрические и механические действия», электромагнитную теорию света и теорию эластичного твердого эфира (Hunt, 2005, p.18).

Так же как Коперник, который, предположив, что Земля – обычная планета, вращающаяся вокруг Солнца, и создав тем самым гибридный объект, распространил математические принципы на земные явления, а физические – на небесные, Максвелл, введя гибридный объект – ток смещения – положил начало распространению принципов электромагнетизма на оптические явления, а принципов оптики – на явления электромагнитные.

Фактически используя в физике «**принцип дополнительности**», он завершает свое обсуждение в XXIII главе «*Теории действия на расстоянии*», дав следующий сравнительный анализ полевых и корпускулярных подходов:

«Но мы не в состоянии понимать распространение во времени иначе, как только двумя способами: или как полет материальной субстанции через пространство или как распространение состояния движения или напряжений в среде, уже существующей в пространстве» (Максвелл, [1873], 1952, С.631).

Т.е. то, что там движется между проводниками и магнитами, мы не знаем, но если мы попытаемся описывать это «что-то» при помощи наших обычных понятий, то у нас нет других аналогий, нежели «частицы» и «волны».

И это – уже зародыш современного подхода; действительно, как много позже охарактеризовал эту ситуацию Ричард Фейнман,

«все зависит от ваших предрассудков. Многие физики часто говорят, что прямое действие сквозь пустоту, сквозь ничто, невысказуемо. (Как они могут называть идею невысказуемой, если она уже вымыслена?)...Единственная разумная постановка вопроса – спросить, какой путь рассмотрения электрических эффектов **наиболее удобен**» (Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1966, т.5, С.24-25).

Одни предпочитают частицы, «другим по душе» поля. И силовые линии – это всего лишь «грубый способ описания поля». У них имеются свои достоинства, - они дают наглядную картину, - но есть и свои недостатки. Если мы, например, говорим о «линиях» **E** и **B**, то не нужно преувеличивать реальность их существования. Линии могут исчезнуть, если мы захотим их увидеть в другой системе координат.

Но вернемся к максвелловской синтетической исследовательской программе. Вплоть до самых своих последних дней сам Максвелл ничего не говорил ни о том, как генерируются электромагнитные поля, ни о том, каким образом в его теории объясняются отражение и преломление света. Поэтому задачу извлечения из *«Трактата об Электричестве и Магнетизме»* согласованной теории, равно как и придание ей необходимого «рабочего» вида, необходимого для сопоставления с экспериментальными данными, предстояло решить его ученикам - «максвелловцам» (the Maxwellians). Так принято называть Френсиса Джорджа Фицджеральда (1851-1901), сэра Оливера Лоджа (1851-1940) и мистера Оливера Хевисайда (1850-1925).

Следующий шаг в последовательном объединении оптики и электромагнетизма, т.е. в распространении принципов электродинамики на оптические явления, сделал в 1879г. ирландский физик Френсис Фицджеральд, который обратился к забытой работе своего соотечественника Джеймса Мак-Кулоха (1839). Последний вывел, на основе гамильтоновой формулировки волновой оптики, уравнения, описывавшие основные оптические явления – такие как отражение, преломление и двойное преломление света. Фицджеральд смог инкорпорировать теорию Мак-Кулоха в электромагнитную теорию света, несмотря на ее известные трудности : как еще в 1862г. показал Г. Стокс, она приписывала эфиру такие эластичные свойства, которые резко отличались от свойств всех известных тогда веществ (подробнее см : Buchwald, 1985).

«Вывод Фицджеральда был неотвратим: если теория Максвелла хотела выжить, она должна полностью отказаться от опоры на эластичный твердый эфир и создать принципиально новый базис. Попытки же произвести “гибридную” теорию, подобную той, которую сам Максвелл создал для объяснения эффекта Фарадея, должны быть категорически пресечены» (Hunt 2005, p.529).

## Резюме четвертой главы.

В работе 1864г. «*Динамическая теория электромагнитного поля*» (III) Максвелл поставил своей целью переполучить уравнения электромагнитного поля не из сомнительных модельных представлений, а из принципа наименьшего действия, из лагранжиана, специально сконструированного для электромагнитного поля. Но для этого лагранжиан сначала надо правильно построить, что Максвелл и делает, исходя из определенных «очевидных» умозраительных принципов. Общие уравнения в дальнейшем применяются им к случаю магнитных возмущений, и демонстрируется, что единственные возмущения, которые могут распространяться, это возмущения, поперечные к направлению распространения.

Здесь Максвелл уже по-другому оценивает соотношения между своей собственной исследовательской программой и программой Ампера-Вебера. Теперь он усматривает достоинство своей программы в том, что предлагаемый им подход имеет более общий характер, описывая энергию не только в самих телах, но и пространстве, которое их окружает.

И, наконец, творчество Максвелла завершает объемный «*Трактат об электричестве и магнетизме*» [IV], задуманный как энциклопедия явлений электричества и магнетизма. В духе второй половины XIX в. наследник традиций не только кантовской эпистемологии, но и контовского позитивизма ставит в качестве своей основной цели, относящейся к явлениям электричества и магнетизма, «проследить математические соотношения между измеряемыми величинами».

Максвелл отмечает, что воззрения Фарадея, даже выраженные на языке математики, ничем в лучшую сторону не отличаются от воззрений Ампера и Вебера, и должны быть включены в конструируемую теоретическую схему в качестве равнозначного частного случая. Здесь налицо попытка использовать своего рода «принцип дополнительности». Максвелл понимал, что то, что мы называем «объектами», «силами» и «полями», является нашими попытками отображения реальности, которая непосредственно нашим чувствам недоступна, и может быть строго описана только на математическом языке. Последний может описывать не глобальные, «онтологические» свойства самой реальности, но лишь отношения между ее частями.

На двадцати с лишним страницах главы своего «*Трактата*» Максвелл построил лагранжиан, представляющий собой разность кинетической и потенциальной энергий, только для случая замкнутых токов. Тем не менее при переходе к случаю электромагнитных возмущений в пустом пространстве, требующего токов незамкнутых, он просто «руками» прибавил ток смещения к току проводимости.

Этот небольшой шаг Максвелла фактически подрывал главную притягательность использовавшегося им метода Лагранжа и, следовательно,

достоверность вывода об электромагнитной природе света. Неслучайно первое экспериментальное доказательство существования тока смещения было дано только в опытах Герца (1888).

В конце своей последней большой работы Максвелл подытоживает полученные им результаты, суть которых сводится к следующему. Он совершил поистине «коперниково деяние» в теории электричества и магнетизма, тщательно собрав эмпирические и теоретические аргументы для отождествления электромагнитного и светоносного эфиров и создания тем самым гибридной теоретической модели, основанной на токе смещения и сводящей воедино теорию электромагнетизма и оптику.

Так же как Коперник, который, предположив что Земля – обычная планета, вращающаяся вокруг Солнца, и создав тем самым гибридный объект, распространил математические принципы на земные явления, а физические – на небесные, Максвелл, введя гибридный объект – ток смещения – положил начало распространению принципов электромагнетизма на оптические явления, а принципов оптики – на явления электромагнитные.

Вплоть до самых своих последних дней сам Максвелл ничего не говорил ни о том, как генерируются электромагнитные поля, ни о том, каким образом в его теории объясняются отражение и преломление света. Поэтому задачу извлечения из «Трактата об Электричестве и Магнетизме» согласованной теории, равно как и придание ей необходимого «рабочего» вида предстояло решить его ученикам - «максвелловцам»

Их заключение было неотвратимо: если теория Максвелла хочет выжить, она должна полностью отказаться от опоры на эластичный твердый эфир и создать принципиально новый базис. Попытки же произвести “гибридную” теорию, подобную той, которую сам Максвелл создал для объяснения эффекта Фарадея, должны быть категорически пресечены.

## ГЛАВА ПЯТАЯ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ МАКСВЕЛЛОВСКОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ: ГЕЛЬМГОЛЬЦ И ГЕРЦ.

*Физики оказываются в плену следующей дилеммы: или откажитесь от традиционной теории электрических и магнитных распределений, или откажитесь от электромагнитной теории света. Но не могут ли они одобрить третье решение? Почему бы им не вообразить доктрину, в которой осуществлено логическое согласование старой электростатики, старого магнетизма, а также новой доктрины, согласно которой электрические действия распространяются в диэлектриках? – Эта доктрина существует; это одно из прекраснейших достижений Гельмгольца; будучи естественным продолжением доктрин Пуассона, Ампера, Вебера и Неймана, она логически ведет от принципов, заложенных в начале 19 столетия, к наиболее поразительным следствиям максвелловских теорий, от законов Кулона к электромагнитной теории света; без утраты всех недавних завоеваний электрической науки, она восстанавливает непрерывность традиции».*

Пьер Дюгем

Максвелловская попытка нащупать разумный компромисс между тремя исследовательскими программами – Юнга-Френеля, Фарадея и Ампера-Вебера – была подхвачена Германом Гельмгольцем в работе «Об уравнениях движения электричества в покоящихся проводящих средах», опубликованной в 1870. В гельмгольцевском формализме заряды и токи рассматривались в качестве **источников** электрических и магнитных полей, что напрямую вело к лоренцевскому дуалистическому объединению уравнений движения зарядов и уравнений поля в 1892-1900.

Будучи автором знаменитой монографии (1847), заложившей теоретические основы закона сохранения энергии, Герман фон Гельмгольц (1821-1894) исходил в его обосновании из ньютоновской парадигмы центральных сил, действующих мгновенно вдоль прямых линий. Это, с одной стороны, обусловило его постоянный поиск компромисса между теориями действия на расстоянии и полевыми представлениями уже в



области электродинамики. С другой стороны, в области эпистемологии и натурфилософии он был убежденным противником т.н. «немецкой натурфилософии» Шеллинга и Гегеля, и рассматривал свое творчество как возвращение к серьезному и трезвому «аутентичному Канту». (Как известно, во время своего обучения в берлинском университете Гельмгольц посещал лекции по философии Канта).

Неслучайно Гельмгольц известен как один из создателей т.н. «теории иероглифов», согласно которой наши представления являются только знаками, но не копиями вещей «самих по себе», а пространственные характеристики объектов – это интерпретации наших ощущений, но не их непосредственный результат.

Конечно, Гельмгольц не был ортодоксальным кантианцем. Например, в своей статье (1918) глава марбургской школы неокантианства Эрнст Кассирер отмечал, что несмотря на то, что взгляды Гельмгольца «были сознательно связаны с Кантом» и на то, что Гельмгольц оказал «значительное влияние на формирование неокантианства», он сделал априорное зависящим от опыта, что, конечно, явилось значительным отходом от ортодоксального кантианства (Patton, 2009). Сам Гельмгольц рассматривал свою эпистемологию как разновидность «научно улучшенного кантианства» (Coffa, 1993, p.171).

Гельмгольц высоко оценивал максвелловское доказательство того факта, что поляризованное вещество может способствовать распространению света как результат «исключительной важности». Но он скептически относился к максвелловской идее светового эфира и вместо нее разрабатывал концепцию, основанную на представлениях о диэлектрическом и диамагнитном веществе. В этой эфирной модели требование бесконечной проводимости заставляло заряд вести себя подобно несжимаемой жидкости, и делать все токи замкнутыми – как, впрочем, и в теории Максвелла. Гельмгольц упорно пытался переполучить все значимые результаты максвелловской теории, не отказываясь при этом от основных положений

электродинамики Ампера-Вебера. В частности, он предполагал, что электростатические силы обязательно присутствуют в пространстве в качестве **особого поля**, и что изменение поляризации или смещения зарядов свидетельствует об изменении поля электростатического (Helmholtz, [1870],1882).

Исходя из описанных выше допущений, Гельмгольц успешно вывел обобщенные уравнения, во многом сходные с уравнениями Максвелла и показал, что в определенном предельном случае они переходят в максвелловские. Решив их для случая однородного диэлектрика, он пришел к следующим волновым уравнениям для векторов электрической и магнитной поляризации **P** и **I** (подробнее см. Smirnov-Rueda, 2001) :

$$\Delta \mathbf{P} = 4\pi\epsilon (1+4\pi\Theta) \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{P}}{\partial t^2} + [1 - (1+4\pi\Theta) (1+4\pi\epsilon) / k] \nabla(\nabla \mathbf{P}) \quad (1)$$

$$\Delta \mathbf{I} = 4\pi\epsilon (1+4\pi\Theta) \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{I}}{\partial t^2} \quad (2)$$

Уравнения (1) – (2) имеют решения, описывающие поперечные волны, распространяющиеся со скоростью  $c / \sqrt{4\pi\epsilon (1 + 4\pi\Theta)}$  . Но уравнение (1) также содержит в качестве своего решения и *продольные* волны электрической поляризации, распространяющиеся со скоростью

$c\sqrt{(1 + 4\pi\epsilon)} / \sqrt{4\pi\epsilon k}$  . В итоге основные результаты максвелловской электродинамики воспроизводятся в предельном переходе  $k=0$ .

Таким образом, в дополнение к обычным поперечным электромагнитным волнам, Гельмгольц обнаружил продольные электрические волны, распространяющиеся с бесконечной скоростью в максвелловском пределе  $k=0$ .

В дальнейшем, совместно со своими учениками американцем Генри Роуландом и русским физиком Николаем Шиллером, Гельмгольц провел в берлинском университете в 1873-78 гг. серию экспериментов по открытым

тока. Для разрешения проблем, возникших в связи с этими экспериментами, Гельмгольц организовал в 1879г. конкурс с премией за «экспериментальное упрочение любого отношения между электромагнитным действием и поляризацией диэлектриков» и уговорил одного из лучших своих студентов – Генриха Герца – принять в этом конкурсе участие.

Вот как Гельмгольц впоследствии вспоминал (в предисловии к герцевским «Принципам механики») обстоятельства этой проблемной ситуации, предварительно красочно описав «ставшее неуправляемым» положение, когда многочисленные «чрезвычайно сомнительные» теории Неймана, Римана, Грассмана, Клаузиуса и др. спорили друг с другом за объяснение многочисленных явлений электромагнетике:

«Я пришел к следующему общему результату. Явления с полностью замкнутыми токами ... могут быть одинаково хорошо выведены из *любой* упомянутой выше гипотезы...С другой стороны, выводы, следующие из них в случае неполностью замкнутых токов, значительно отличались друг от друга... Поэтому всякое расхождение между любой новой теорией и любым известным фактом в этой хорошо проторенной области должно вскорости привлечь внимание и использовано для опровержения этой теории.

Но на открытых концах незамкнутых проводников, между которыми расположены изолирующие массы, любое движение электричества вдоль длины проводника немедленно вызывает накопление электрических зарядов; это вызвано накоплением электричества, которое не может пробить себе дорогу через изолятор, находящийся между концами проводника. Между электричеством, накопленным на конце, и электричеством того же типа, которое растет против него, возникает сила отталкивания; и этой силе необходимо чрезвычайно короткое время для достижения такой величины, которая полностью сдерживает рассматриваемый поток электричества. Тогда рост прекращается; и через мгновение покоя снова начинается рост аккумуляции электричества в противоположном направлении» (Helmholtz 1899, pp.X-XI).

И в 1886-88 гг. Генрих Герц занялся в Карлсруэ – пригороде Берлина – исследованием соотношений между теориями Максвелла и Гельмгольца в новой серии экспериментов. Как впоследствии описывал истоки своих исследований сам Герц в статье «*Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла*»:

« моя первоначальная интерпретация этих экспериментов основывалась на старых взглядах и частично пыталась объяснить эти феномены как возникающие из-за совместного действия электростатических и электромагнитных сил. Максвелловской теории в ее чистом виде подобное разделение чуждо» (Hertz [1889], 1893, p.137).

Он наметил целую серию измерений, исходящих из гельмгольцевского разделения общей электрической силы на электростатическую и электродинамическую компоненты, распространяющиеся с принципиально отличными друг от друга скоростями. Согласно Герцу,

«Общая сила может быть разделена на электростатическую и электродинамическую части; несомненно, что на коротких расстояниях преобладает и определяет направление действие общей силы первая компонента, а на длинных – вторая » (Hertz [1888], 1893, p.110).

В соответствии с законом Кулона, электростатическая компонента должна быть пропорциональна обратному квадрату расстояния, в то время как электродинамическая компонента - только расстоянию в минус первой степени. В стандартном разделе классической электродинамики этой ситуации соответствует член, описывающий продольную компоненту электромагнитного поля, и член, описывающий поперечную, или радиационную компоненту.

Для проведения задуманной серии экспериментов необходимы были устройства, генерирующие электрические колебания, гораздо более быстрые по сравнению с уже существующими. Герцевские усилия и в этом отношении направлялись исследованиями Гельмгольца:

«именно Гельмгольц в своей статье *Ueber die Erhaltung der Kraft* впервые установил (в 1847), что разряд лейденской банки носит осцилляторный характер» (Hertz [1890b], 1893, p.269).

Усилия Герца были, как известно, вознаграждены; он быстро продемонстрировал существование чрезвычайно быстро изменяющихся токов с сильным индуктивным действием через разрядную полость (Hertz,

[1887]). Он также установил резонансное соотношение между первичной и вторичной электрической цепями в присутствии регулярных колебаний. Как впоследствии – в предисловии к первому сборнику своих статей - отмечал сам Генрих Герц,

«вскоре после начала экспериментов я был поражен явной обратной связью между одновременными электрическими искрами... [Но] что меня особенно удивило, так это постоянное увеличение расстояния, на котором я мог воспринимать это действие; до этого общепринятые воззрения состояли в том, что электрические силы ослаблялись в соответствии с ньютоновским законом, и поэтому быстро стремились к нулю по мере роста расстояния» (Hertz, 1893, pp.4,6).

Следующий важный шаг состоял в модификации и улучшении приемного устройства (вторичной цепи). Сделав это, Герц приступил к проблеме распространения колебаний в воздухе. В конце 1887г. он наблюдал стоячие волны, образованные интерференцией колебаний, распространяющихся в воздухе и в медном проводе. Полученный результат - значительно отличающаяся от скорости света скорость наблюдавшихся колебаний, - сначала сильно озадачил Герца. Он вынужден был повторить свои эксперименты осенью 1888г., используя значительно более короткие длины волн - порядка 30 см. Теперь уже разработанная техника позволила Герцу начать серию экспериментов по отражению, преломлению и поляризации радиоволн, наглядно раскрыв потрясающую аналогию между оптическим излучением и радиоволнами (Hertz, [1888b]).

Необходимо отметить, что заголовок герцевской работы 1888 г. «*О конечной скорости распространения электромагнитного действия*» с современной точки зрения может характеризоваться как старомодный, поскольку сторонники максвелловской теории, особенно т.н. «максвелловцы» (the Maxwellians) никогда не употребляли термины гельмгольцевской электродинамики. И тем более они никогда не расщепляли общую электрическую силу на электромагнитную и электростатическую части. Но для тех современников Герца, которые поддерживали теорию

Гельмгольца, значение полученных Герцем результатов было ясно: герцевские эксперименты делали качественное заключение о конечности распространения электромагнитной части, но ничего определенного не могли сказать об электростатической компоненте. Поэтому Герц в этой статье и делал важную оговорку:

«Из этого следует, что абсолютное значение первого из всего этого – того же самого порядка, что и скорость света. Ничего до сих пор нельзя сказать определенного о распространении электростатического действия».

Правда, как отмечает цитирувавшийся выше современный исследователь творчества Г. Гельмгольца и Г. Герца Роман Смирнов-Руэда, некоторые герцевские измерения, судя по всему, свидетельствовали о мгновенном характере электростатической компоненты, но до конца он не был в этом убежден. Поэтому Герц предпочитал осторожные выражения:

« В силу того, что интерференции вне всякого сомнения изменяют знак после 2,8 метров в окрестности первого осциллятора, мы можем заключить, что электростатическая сила, которая в данном случае превалирует, распространяется с бесконечной скоростью» (Hertz [1888], 1983, p.110).

По сути дела последняя часть приведенной цитаты предвещает последующий переход Герца в «максвелловскую веру». С точки зрения Герца, существование двух различных скоростей, приписываемых двум различным частям электромагнитного действия, делает задачу анализа слишком сложной. То есть из двух различных объяснений полученных данных Герц выбрал такое, которое в большей степени соответствует критерию «простоты», который им и до этого применялся постоянно к уравнениям Максвелла.

«Гельмголец различает между двумя видами электрической силы – электромагнитным и электростатическим, – которым, до тех пор пока экспериментом не будет доказано противоположное, - приписывается две различные скорости. Интерпретация этих экспериментов с этой точки зрения ни в коей мере не является ошибочной, но она, возможно, излишне усложнена. В особом предельном случае теория Гельмгольца становится значительно проще, и ее уравнения в этом случае сводятся к уравнениям

максвелловской теории; остается только одна сила, которая и распространяется со скоростью света» (Hertz [1889], 1893, p.123 ).

С нашей точки зрения, именно попытка обосновать рациональность принятия более простого объяснения опытов с радиоволнами вынудила Герца «забросить» сулящие колоссальные эвристические (не говоря уже о технологических) перспективы опыты и посвятить последние три года своей и без того короткой жизни своему утопическому проекту преобразования классической механики. Об этом предельно ясно говорит в предисловии к своей книге *«Принципы механики»* сам Герц:

«было бы чересчур поспешным попытаться основать уравнения движения эфира на законах механики до тех пор, пока мы не решим для себя окончательно, что же под этим понимать» (Hertz, 1893, p. XXI).

Герцевская «сверхзадача» состояла, в первом приближении, в элиминации понятия «силы». Но – лишь в первом приближении. На самом деле Герц ставил перед собой более амбициозную задачу - приведение опоры всей классической физики - ньютоновской механики - в большее соответствие с прагматическим «духом времени», состоящим в конструктивистском выборе самых простых, удобных, менее «вычурных» вариантов, в оперировании только с теми величинами, которые можно измерить:

«мы можем ожидать найти в этих уравнениях [ электромагнитного поля ] отношения между физическими величинами, которые наблюдаются на самом деле, а не между теми величинами, которые служат только для вычислений» (Hertz [1890a], 1893, p.196).

Каковы же были критерии, при помощи которых Генрих Герц намеревался подвергнуть классическую механику критическому анализу? – Они, вне всякого сомнения, отыскивались Герцем в сфере кантовской эпистемологии, изложению основных идей которой и посвящено знаменитое введение к его работе. Неслучайно еще до знакомства с Гельмгольцем Герц посещал в Дрездене лекции по кантовской эпистемологии.

«Мы формируем для себя образы или **символы** внешних объектов; и та форма, которую мы им придаем, такова, что необходимые следствия образов в мыслях всегда являются образами необходимых следствий в природе тех вещей, которые нами изображаются. Для того, чтобы это требование могло быть удовлетворено, должно существовать определенное конформное сходство между природой и нашей мыслью. Опыт учит нас, что это требование может быть удовлетворено, и что поэтому подобное сходство существует на самом деле. Когда из нашего аккумулированного предыдущего опыта нам удалось вывести образы рассматриваемой природы, мы можем тогда в течение короткого времени развить с их помощью, как посредством **моделей**, те следствия, которые во внешнем мире возникают или только в течение сравнительно долгого времени, или в результате нашего собственного вмешательства...

Те образы, о которых мы только что говорили, - это **наши** концепции вещей. С **вещами самими по себе** они находятся в состоянии сходства только в одном важном аспекте, а именно в удовлетворении того требования, о котором говорилось выше. Для наших целей не является необходимым, чтобы они находились в состоянии сходства с вещами в любом другом отношении. Как правило, мы и не знаем, и у нас нет других средств для того, чтобы узнать, находятся ли наши концепции вещей в конформном сходстве с ними в любом другом аспекте, который отличается от данного фундаментального аспекта.

Те образы, которые мы можем сформировать о вещах, не детерминируются однозначным образом тем требованием, согласно которому следствия образов должны быть образами следствий. Возможны **разные образы одних и тех же объектов**, и эти образы могут отличаться друг от друга в самых разных отношениях. Мы должны обозначить как недопустимые все образы, которые неявно противоречат законам нашей мысли» (Hertz, 1899, p.1).

С нашей точки зрения, конец этой по необходимости пространной цитаты имеет непосредственное отношение к рассмотренной выше ситуации выбора между теориями Гельмгольца и Максвелла. Герц уже сделал к этому времени свой выбор – в пользу теории Максвелла, и теперь он должен его эпистемологически обосновать.

«Но два [логически] допустимых и [эмпирически] корректных образа одних и тех же внешних объектов могут тем не менее отличаться в отношении соответствия [appropriateness]. Из двух образов одного и того же объекта тот является наиболее соответствующим, который изображает большее число **существенных отношений объекта**, - тот, который мы можем называть более *отчетливым* [distinct]. Из двух одинаково отчетливых образов



наиболее соответствующим является тот, который содержит, вдобавок с существенных характеристикам, меньшее число излишних, или пустых, отношений – тот, который из двух является самым **простым**. Без пустых отношений полностью обойтись нельзя: они входят в образы потому, что это просто образы, - образы, созданные нашим сознанием и с необходимостью вызванными характеристиками его способа изображения» (Hertz 1899,p.2).

Яркими примерами излишних образов являются «сила» и «электричество», вокруг которых нагромождено гораздо больше всевозможных связей и отношений, чем это необходимо. В частности, в механике сила вводится как причина движения до самого движения и независимо от него. Поэтому, по Герцу, надо создать такой вариант механики, который оперировал бы вместо понятия силы понятием энергии. Что касается электричества, то работа критерия простоты в этой области рассмотрена Герцем в докладе на заседании германской ассоциации содействия развитию естественных наук и медицины, сделанном в 1889г., в которой он рассмотрел тот тупик, к которому пришла история теорий действия на расстоянии:

«Стало необходимым увеличить число действий-на-расстоянии, и улучшить их форму. В результате эта концепция постепенно утратила свою простоту и физическую вероятность» (Hertz [1889], 1896,p.315).

В итоге, в работе Герца обсуждение работы в науке «метафизического» критерия простоты завершается следующим заключением :

«Сомнение, которое оказывает влияние на наше сознание, не может быть устранено за счет называния его метафизическим; каждый мыслящий разум как таковой обладает потребностями, которые ученые люди обычно называют метафизическими... Действительно, мы не можем а priori ни требовать от природы простоты, ни судить о том, что с ее точки зрения является простым. Но по отношению к созданным **нами самими** образам мы можем выдвигать требования. Наши решения оправдываются тем, что если наши образы хорошо адаптируются к вещам, то действительные отношения вещей должны репрезентироваться простыми отношениями между образами» (Hertz 1899,p.23).

Кантианская компонента мировоззрения Герца и его эпистемологии проявляется не только в описанной выше познавательной схеме, придающей

особое значение ясности, отчетливости и простоте теоретических построений. Как отмечает американский историк науки Джед Бухдал (Jed Z. Buchdahl), неслучайно уже в 1884г. Герц разработал такую версию уравнений Максвелла, которая вообще не использовала понятие эфира.

«Герц, можно сказать, хотел в 1884г. отбросить эфир, даже если при этом уравнения Максвелла были бы оставлены, для того, чтобы избежать работы с вещью, которая, с одной стороны, вела себя как лабораторный объект, а с другой – ей нельзя было манипулировать» (Buchdahl, 1998, p.272).

Еще более важно, что в своих эмпирических схемах, аккумулировавших исследовательский опыт работы Герца с радиоволнами, Герц изображал самую важную часть своей установки – осциллятор радиоволн – как типичную кантовскую **«вещь в себе»**. Так, на рисунке в статье *«Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла»* (Hertz [1889]), весьма и весьма подробно изображавшем силовые линии электромагнитного поля, осциллятор чисто символически представлен гантелями, обведенными в кружок. И это все; никаких деталей его работы и никаких исходящих из осциллятора силовых линий генерируемого им электромагнитного излучения.

Все это, конечно, неслучайно. Именно у своего учителя – Гельмгольца – Герц научился обращать внимание прежде всего на новые **взаимодействия** лабораторных объектов, не слишком утруждая себя рассмотрением их «природы» - тех скрытых процессов, которые за этими взаимодействиями стоят. Именно от Гельмгольца Герц научился тому, что должным образом сконструированные и эффективные физические теории основаны на **потенциальных** функциях, представляющих взаимодействия, имеющие место в данный момент. Подобный потенциал может быть функцией только от расстояния между объектами и от состояний, в которых объекты находятся в данный момент. Для того, чтобы определить, как изучаемые объекты будут вести себя в будущем, потенциальная функция должна подвергнуться виртуальному преобразованию. Именно Гельмголец

рассматривал потенциал как первичную, фундаментальную и ни к чему несводимую величину, из которой затем впоследствии должно быть выведено понятие силы.

«Именно потому, что Герц игнорировал физический характер объекта, производившего его излучение, - потому, что он поместил его в ментальный карантин для избегания вопросов о нем, - он и оказался способным достичь прогресса там, где его британские современники оказались бессильны» (Buchdahl, 1998, p.272).

Любопытно, что и в наши дни проблема теоретического воспроизведения работы герцевского осциллятора остается весьма и весьма непростой. Так, в хорошо известном учебнике Чарльза Папаса «Теория распространения электромагнитных волн» (Papay, 1988) отмечается, что «детерминация антенного тока является граничной задачей значительной сложности»; автор далее старательно ее обходит.

В итоге, природа электромагнитных волн представлялась Герцу своего рода «вещью в себе», которая допускает множество интерпретаций. Исследователь естественно выбирает из этого множества такое, с которым проще всего работать. Главное – уравнения, которые отражают объективно существующие связи и отношения между теоретическими объектами. Именно об этом и свидетельствуют знаменитые слова Герца:

«На вопрос “что такое теория Максвелла?” я не знаю более короткого и более определенного ответа, чем следующий : **теория Максвелла - это уравнения Максвелла.** Каждая теория, которая ведет к той же самой системе уравнений, и поэтому содержит в себе (comprises) одни и те же возможные явления, будет рассматриваться мной как формирующая специальный случай теории Максвелла» (Hertz 1893, p. 21).

Для адекватной оценки значимости герцевского открытия важно, что **Герц был отнюдь не первым, кто наблюдал радиоволны.** Так, до него Хьюз обнаружил стоячие электромагнитные волны. Или, что еще более значимо, также наблюдал радиоволны в 1875-1882гг. и сам Томас Альва Эдисон. Но никто из них не был настолько осведомлен в теории Максвелла для того, чтобы связать наблюдаемые эффекты с электромагнитными

волнами (Sengupta, Sarkar, 2003).

С другой стороны, роль электромагнитной теории в открытии Герца не следует и преувеличивать. Так, в предисловии к основному сборнику своих статей *«Электрические волны»*, опубликованному впервые в 1893г., через пять лет после знаменитых опытов по обнаружению радиоволн, Герц специально отмечал :

«Я также не верю в то, что можно было придти к познанию этих явлений на основе одной только теории. Поскольку их появление на нашей экспериментальной сцене зависит не только от их теоретической возможности, но также и от особых и удивительных свойств электрической искры, которые не могут быть заранее предсказаны ни одной теорией» (Hertz,1893, p.17).

В общем случае, мы можем сказать, что **открытие Герца является результатом плодотворного взаимодействия двух исследовательских традиций – теоретической и экспериментальной**, каждая из которых обладает своей собственной логикой эволюции. В этом процессе эти традиции «обтачиваются», используя термин Максвелла “are grinding out”, шлифуют друг друга. А именно: в рамках теоретической традиции выдвигаются различные предсказания, предлагаются различные объяснения. Экспериментальная же традиция выбирает самое простое.

С другой стороны, эксперимент предоставляет в распоряжение исследователя чрезвычайно большое число опытных данных; теория же позволяет отобрать лишь наиболее существенные.

**«Рука об руку с теоретическими дискуссиями я продолжал экспериментальную работу...»** (Hertz 1893,p.15).

## Резюме пятой главы.

Максвелловская попытка нащупать разумный компромисс между тремя исследовательскими программами – Юнга-Френеля, Фарадея и Ампера-Вебера – была подхвачена Германом Гельмгольцем. В его формализме заряды и токи рассматривались в качестве источников электрических и магнитных полей, что напрямую вело к лоренцевскому дуалистическому объединению уравнений движения зарядов и уравнений поля.

Гельмгольц скептически относился к максвелловской идее светового эфира и вместо нее разрабатывал концепцию, основанную на представлениях о диэлектрическом и диамагнитном веществе. В этой эфирной модели требование бесконечной проводимости заставляло заряд вести себя подобно несжимаемой жидкости, и делать все токи замкнутыми. Гельмгольц пытался переполучить все значимые результаты максвелловской теории, не отказываясь при этом и от основных положений электродинамики Ампера-Вебера. В частности, он предполагал, что электростатические силы обязательно присутствуют в пространстве в качестве особого поля, и что изменение поляризации или смещения зарядов свидетельствует об изменении поля электростатического.

В дальнейшем, совместно с Генри Роуландом и Николаем Шиллером, Гельмгольц провел в 1873-78 гг. серию экспериментов по проверке и уточнению своих теоретических представлений. В 1879г. он организовал конкурс с премией за «экспериментальное упрочение любого отношения между электромагнитным действием и поляризацией диэлектриков» и уговорил Генриха Герца принять в этом конкурсе участие. В результате в 1886-88гг. Генрих Герц занялся исследованием соотношений между теориями Максвелла и Гельмгольца в серии экспериментов. Для ее проведения необходимы были устройства, производящие электрические колебания, гораздо более быстрые по сравнению с уже существующими.

Усилия Герца были вознаграждены; он продемонстрировал существование чрезвычайно быстро изменяющихся токов с сильным индуктивным действием через разрядную полость. Он также установил резонансное соотношение между первичной и вторичной электрической цепями в присутствии регулярных колебаний. В 1888г. разработанная техника позволила Герцу начать серию экспериментов по отражению, преломлению и поляризации радиоволн, наглядно раскрыв аналогию между оптическим излучением и радиоволнами.

Полученные результаты были подытожены в серии статей, особое место среди которых занимает работа «О конечной скорости распространения электромагнитного действия» (1888). Ее заголовок с современной точки зрения выглядит старомодным, поскольку т.н. «максвелловцы» (the Maxwellians) никогда не употребляли термины гельмгольцевской электродинамики. И тем более они никогда не расщепляли

общую электрическую силу на электромагнитную и электростатическую части. Но для тех современников Герца, которые поддерживали теорию Гельмгольца, значение полученных Герцем результатов было ясно: герцевские эксперименты делали качественное заключение о конечности распространения электромагнитной части, но ничего определенного не могли сказать об электростатической компоненте. Поэтому Герц и сделал оговорку: «Из этого следует, что абсолютное значение первого из всего этого – того же самого порядка, что и скорость света. Ничего до сих пор нельзя сказать определенного о распространении электростатического действия».

Правда, некоторые герцевские измерения, судя по всему, свидетельствовали о мгновенном характере электростатической компоненты, но до конца он не был в этом убежден. Поэтому Герц предпочитал осторожные выражения: « В силу того, что интерференции вне всякого сомнения изменяют знак после 2,8 метров в окрестности первого осциллятора, мы можем заключить, что электростатическая сила, которая в данном случае превалирует, распространяется с бесконечной скоростью» (Hertz [1888], 1983, p.110).

По сути дела последняя часть приведенной цитаты предвещает последующий переход Герца в «максвелловскую веру». С точки зрения Герца, существование двух различных скоростей, приписываемых двум различным частям электромагнитного действия, делает задачу анализа слишком сложной. Из двух различных объяснений полученных данных Герц выбрал такое, которое в большей степени соответствует критерию «простоты», который им и до этого применялся постоянно к уравнениям Максвелла.

Именно попытка обосновать рациональность принятия более простого объяснения опытов с радиоволнами вынудила Герца «забросить» сулящие эвристические (не говоря уже о технологических) перспективы опыты и посвятить последние три года своей жизни утопическому проекту преобразования классической механики.

В своих эмпирических схемах, аккумулировавших исследовательский опыт работы Герца с радиоволнами, Герц изображал самую важную часть своей установки – осциллятор радиоволн – как типичную кантовскую «вещь в себе». Аналогично, природа электромагнитных волн представлялась Герцу своего рода «вещью в себе», которая допускает множество интерпретаций. Исследователь естественно выбирает из этого множества такое, с которым проще всего работать. Главное – уравнения, которые отражают объективно существующие связи и отношения между теоретическими объектами. Именно об этом и свидетельствуют слова Герца: «На вопрос “что такое теория Максвелла?” я не знаю более короткого и более определенного ответа, чем следующий : теория Максвелла - это уравнения Максвелла.

Открытие Герца является результатом плодотворного взаимодействия двух исследовательских традиций – теоретической и экспериментальной, каждая из которых обладает своей собственной логикой эволюции. В этом

процессе эти традиции «обтачиваются», используя термин Максвелла “are grinding out”, шлифуют друг друга. А именно: в рамках теоретической традиции выдвигаются различные предсказания, предлагаются различные объяснения. Экспериментальная же традиция выбирает самое простое.

С другой стороны, эксперимент предоставляет в распоряжение исследователя чрезвычайно большое число опытных данных; теория же позволяет отобрать лишь наиболее существенные.

## ЭПИЛОГ. МАКСВЕЛЛ И ЭЙНШТЕЙН.

*Это изменение представлений о реальности [т.е. концепция поля] является наиболее глубоким и плодотворным из всех, которые знала физика после Ньютона... Установленные с тех пор и добившиеся успеха физические теории являются скорее компромиссами между обеими программами. Именно из-за своего компромиссного характера эти системы носили на себе печать недолговечности и логического несовершенства.*

Альберт Эйнштейн

Через тридцать лет после максвелловского «Трактата об Электричестве и Магнетизме» эстафету подхватил Альберт Эйнштейн. В опубликованной им в 1905г. статье «К электродинамике движущихся тел» была предложена специальная теория относительности (СТО). Она основывалась на т.н. «принципе относительности», утверждавшем, что все законы природы должны выглядеть одинаково во всех инерциальных системах отсчета. Из этой теории следовало, по выражению Ричарда Фейнмана, что

«магнетизм и электричество – не независимые вещи, они всегда должны быть взяты **в совокупности как одно** полное электромагнитное поле. Хотя в статическом случае уравнение Максвелла разделяется на две отдельные пары: одна пара для электричества и одна для магнетизма, без видимой связи между обеими полями, тем не менее в самой природе существует очень глубокая взаимосвязь между ними, возникающая из принципа относительности» (Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1966, т.5, С.266).

В частности, если мы рассмотрим относительное движение заряженной частицы и проволоки, мы получаем один и тот же результат, независимо от того, рассматриваем ли мы движение летящей рядом с проволокой частицы в системе покоя проволоки или в системе покоя частицы. Но в первом случае сила является только «магнитной», а во втором – чисто «электрической».

В статье «К электродинамике движущихся тел» Эйнштейн показал, что электрические и магнитные силы составляют части одного и того же



физического явления – электромагнитного взаимодействия. **Разделение этого взаимодействия на электрическую и магнитную компоненты носит во многом условный характер и в большой степени зависит от системы отсчета, в которой мы описываем взаимодействие.** В этом смысле «явление магнетизма – это чисто релятивистский эффект» (Фейнман).

Например, в плоской волне, движущейся со скоростью света в пустом пространстве, происходит постоянная перекачка ее магнитной энергии в электрическую и обратно.

Но проблема «дополнительности» электрического и магнитного полей оказалась на самом деле связанной с другой, более глубокой проблемой – «дополнительности» полевого и корпускулярного описания электромагнитных явлений.

В самом деле, статья 1905г. по специальной теории относительности (СТО) начинается Эйнштейном со знаменитого описания **«глубокой асимметрии»** в объяснении явления электромагнитной индукции. Опыт говорит нам о том, что индукционный ток, вызванный в проводнике движением магнита, зависит только от относительной скорости движения проводника и магнита. Однако теория Максвелла-Лоренца дает нам два принципиально **разных** описания этого эффекта, приводящим каким-то чудесным образом к одному и тому же результату. Если магнит движется, а проводник покоится, ток в проводнике создается электрическим полем с определенной плотностью энергии. Во втором случае, когда магнит покоится, а проводник движется, никакого электрического поля нет, а индукционный ток приписывается электродвижущей силе, энергия поля которой равна нулю.

Для понимания причин создания СТО принципиально важно то, что Эйнштейн не был ни в коем случае первым, кто заметил эту асимметрию в теоретическом воспроизведении явления индукции. В 1885г. об этом писал такой выдающийся последователь Максвелла, как Оливер Хевисайд, в том же году – телеграфный инженер Толвер Престон, в 1894 – Герман Феппель, ну

а в 1898 – сам Вильгельм Вин (подробнее см.: Darrigol, 2001, p.377). Поэтому принципиально важный вопрос – не в том, что Эйнштейн заметил эту асимметрию, а почему **именно он** оказался к ней особо чувствительным ?

Мы, например, точно знаем по эйнштейновской переписке, что еще в 1901г. он работал над «капитальным трудом» по электродинамике движущихся тел, но почему он оставил этот труд и вернулся к нему только в 1905г. ? Что произошло в этом промежутке, и почему Эйнштейн, бывший сначала сторонником эфира, от него в 1905г. отказался?

- Принцип относительности? Относительности пространства и времени и их свойств? – Но о них писал и Анри Пуанкаре, что не помешало последнему сохранить концепцию эфира – как среды, необходимой для распространения электромагнитных колебаний ?

Скажем, в 1902г. Анри Пуанкаре отмечал :

«Абсолютного времени не существует. Заявление о том, что две длительности равны, - это утверждение, которое само по себе не имеет смысла, и которое может получить последний только по соглашению. Непосредственная интуиция не говорит нам ничего не только о равенстве двух длительностей, но даже об одновременности двух событий, имеющих место в двух разных местах; я объяснил это в статье, названной “Измерение времени”» (цит. по :Darrigol, 2001, p.347).

**Ключ к ответу** на поставленные выше вопросы – в других работах Эйнштейна (подробнее см. : Нугаев, 2010). Тот же Альберт Эйнштейн раскрыл в том же 1905г., но в другой, опубликованной в том же журнале “Annalen der Physik” на **три месяца раньше** работы по СТО статье «*Об одной эвристической гипотезе, касающейся явлений распространения и превращения света*» другую, более глубокую асимметрию:

«Существует *глубокое различие* (курсив мой – Р.М.Н.) между теоретическими представлениями физиков о газах и прочих весомих телах и максвелловской теорией электромагнитных процессов в так называемом пустом пространстве». (Эйнштейн, [1905], 1966,С. 322)

В чем состоит это различие? – В том, что

«хотя мы полагаем, что состояние тела полностью определяется положениями и скоростями хотя и очень большого, но все же конечного числа атомов и электронов, для определения состояния электромагнитного поля в пространстве используются непрерывные функции, так что конечное число переменных недостаточно для определения состояния электромагнитного поля в пространстве» (там же).

К чему это различие может привести? – К тому, что

«теория света, оперирующая непрерывными пространственными функциями, приведет, будучи примененной к явлениям возникновения и превращения света, к *противоречиям с опытом* (курсив мой – Р.М.Н.).»

Отсюда следует, что

«монохроматическое излучение малой плотности (в области применимости закона излучения Вина) в смысле калорической теории ведет себя так, как если бы оно состояло из независимых квантов энергии величиной  $R\beta\nu/N$ ... Но если монохроматическое излучение (достаточно малой плотности) в смысле зависимости энтропии от объема ведет себя как дискретное вещество, состоящее из квантов энергии  $R\beta\nu/N$ , напрашивается вопрос: а не являются ли и законы возникновения и прекращения света такими, как будто свет состоит из подобных же квантов энергии» (Эйнштейн, [1905], 1966, С. 236).

Через четыре года, в обзорном докладе «О развитии наших взглядов на сущность и структуру излучения» (Зальцбург, 1909), представлявшем практически первую серьезную попытку проанализировать все свои работы в совокупности, Эйнштейн констатирует, что

«существует обширная группа фактов в области излучения, показывающих, что свет обладает рядом фундаментальных свойств, которые можно понять с точки зрения теории истечения Ньютона намного лучше, чем с точки зрения волновой теории. **Поэтому я считаю, что следующая фаза развития теоретической физики даст нам теорию света, которая будет в каком-то смысле *слиянием* волновой теории света с теорией истечения** (курсив мой. – Р.М.Н.)» (Эйнштейн [1909], 1966, С.183).

Именно к основным положениям лоренцевской дуалистической программы относятся следующие пронизательные и точные слова Альберта Эйнштейна:

«Установленные с тех пор [т.е. со времен Максвелла – РМН] и добившиеся успеха физические теории являются скорее компромиссом между обеими программами. Именно из-за своего компромиссного характера эти системы носили на себе печать недолговечности и логического несовершенства, несмотря на то, что в отдельности каждая из них добивалась значительных успехов.

В первую очередь следует назвать созданную Лоренцом электронную теорию, в которой поле и электрические частицы одновременно выступают в качестве равноправных элементов» (Эйнштейн, [1931], 1968, С.246).

Таким образом, дуализм между корпускулярным и волновым описаниями, лежащий в основе максвелловской теории, был адекватно разрешен только в первой половине XXв. совместными усилиями создателей **квантовой** теории. Но это – уже другая история.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

*В истории человечества (если посмотреть на нее, скажем, через десять тысяч лет) самым значительным событием XIX столетия, несомненно, будет открытие Максвеллом законов электродинамики. На фоне этого важного научного открытия гражданская война в Америке в том же десятилетии будет выглядеть мелким провинциальным происшествием.*

Ричард Фейнман

Итак, мы рассмотрели генезис и становление максвелловской электродинамической научно-исследовательской программы. Какие же выводы для философии и методологии науки мы можем теперь сделать? В частности, что нового дает проведенное исследование для ответа на следующие - особо значимые для «унификационистов» (unificationists) - вопросы (Kitcher, 1981; Glymour, 1980; Friedman, 1983; Watkins, 1984; Wayne, 2002)?

- Чем отличается **действительное** объединение нескольких теорий от их простой конъюнкции?
- Почему объединение теорий является эпистемологическим **достоинством**, а не недостатком?
- Является ли объединение теорий шагом на пути к более **глубокому** пониманию реальности?
- Действительно ли природа по сути своей настолько **проста**, чтобы допускать создание объединяющих существенно различные процессы теорий ?

Почему мы так верим в то, что чем в большей степени данная теория объединяет другие теории, тем более она **истинна** ?

Здравый смысл требует признать, что ответить на все поставленные вопросы сразу, в одном исследовании, чрезвычайно трудно и, может быть, невозможно. Тем не менее, мы можем попытаться более четко их поставить, а иногда даже приблизиться к более определенным ответам на них.

Тот же здравый смысл настаивает на том, что если мы не верим в существование Высшего Разума, создавшего на основе простых и единых законов все сущее, включающее не только природные объекты, но и нас самих, то ниоткуда не следует ни то, что такие законы, описывающие глубинные и всеобщие свойства окружающих объектов, действительно существуют.

Равно как и то, что чем более общей является данная научная теория, тем ближе она к истине. В частности, ниоткуда не следует, что Holy Grail современной физики - хокинговская Теория Всего на Свете (Theory of Everything), с единой точки зрения описывающая все четыре фундаментальных взаимодействия, действительно должна существовать. Несмотря на провозглашенные за последнее время успехи в объединении различных фундаментальных взаимодействий - от электрослабой теории Вайнберга - Салама до обнаружения хиггсовского бозона или частицы, «похожей» на него, - наверное, не стоит спешить со сверхоптимистичным выводом о том, что мы к этой теории все более и более приближаемся.

Тем не менее, из всего сказанного выше еще не следует, что мы должны встать на точку зрения «антиунификационистов» (таких как Durré, Galison и Stump) и отрицать существование как универсальных принципов объединения, так и значимость самого методологического регулятива, с этим процессом связанного (подробнее см. Mamchur, 2010).

В самом деле, как отмечал еще Джеймс Максвелл, *«в природе все процессы и явления тесно связаны между собой»*, поэтому мы можем ожидать, что эти связи и отношения должны отражаться и на содержаниях

наших научных теорий. Это означает, что, несмотря на то, что мы не можем требовать от наших теорий приближения к некоему идеалу всеохватывающей единой теории, мы все-таки можем ожидать, в процессе увеличения эмпирического содержания нашего знания, **роста согласованности различных теорий между собой**. В этом, с нашей точки зрения, и состоит когерентная концепция научной истины, согласующаяся с «внутренним реализмом» (подробнее см. : Нугаев, 2012). Тогда вполне разумное утверждение о существовании научного прогресса должно состоять в требовании роста **объективности** встречающихся научных теорий, как это подробно описано самим Максвеллом в статье «Гельмгольц».

Рост объективности научного знания состоит в устранении следов «цементов», связывавших между собой разные части столкнувшихся друг с другом научных теорий, как это имело место, например, во времена Галилея и Ньютона, устранивших, по меткому выражению Максвелла, «следы птолемеевой паутины с неба». Эти «цементы» отражают произвол в выборе средств обобщения одного и того же множества «фактов» при помощи разнообразных теоретических языков. Но, по мере согласования встретившихся теорий, произвол в обобщении различных групп фактов все более и более уменьшается, теоретические языки все более и более переплетаются и проникают друг в друга, а объективность научного знания в целом – растет.

Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что рост объективности научного знания совсем не обязательно должен быть связан с приближением к какому-то Конечному Пределу. Сравнимые между собой научные картины мира Аристотеля, Ньютона, Эйнштейна, Бора и Виттена совсем не обязательно должны напоминать фотографии одного и того же объекта, сделанные со все увеличивающейся степенью точности. Скорее, они напоминают картины Руанского собора, сделанные импрессионистом (Клодом Моне) в разное время дня.

Мне кажется, что в попытке найти золотую середину между Сциллой контекстуализма и Харибдой общего философского анализа может оказаться полезным обращение к опыту социально-гуманитарных наук конца XIX в. Именно тогда, в споре между баденской (П. Наторп) и марбургской (В. Виндельбанд, Г. Коген) школами неокантианства по вопросу существования общих исторических закономерностей Макс Вебер предложил следующий разумный компромисс. Всеобщих законов общественного развития действительно не существует. Но это не означает того, что использовать это понятие бесполезно. -

Это означает, что данные всеобщие законы отражают не действительно существующие связи процессов и явлений, а лишь особенности тех **моделей**, которые мы сконструировали для их описания. Законы-тенденции – это идеальные типы, которые мы конструируем, обобщая какие-то специфические case-studies всего лишь для того, чтобы сравнивать эти ситуации друг с другом. Идеальный тип – это шаблон, который мы вырабатываем для описания отклонения данной ситуации от идеально-типической. Поэтому мы не можем полностью согласиться с утверждением М. Моррисон о том, что

«я надеюсь на то, что мое исследование раскроет способы, при помощи которых теоретическое объединение проявляет себя в различных измерениях и в различных контекстах. Это означает, что **не существует «единого» подхода к единству** – черта, придающая этому процессу иммунитет по отношению к общему анализу» (Morrison, 2000, p.119).

В силу того, что дать единое, непротиворечивое и приемлемое для всех описание синтеза теорий чрезвычайно сложно (а может быть вообще невозможно), разумным представляется следующий выход (см., например, Вебер, 1989). Надо выбрать проблемную ситуацию, относительно которой большинство экспертов уверено, что она представляет собой своеобразный **образец синтеза** теорий (первое, что приходит на ум – это, конечно, максвелловский синтез), тщательно исследовать ее, обобщить результаты в



виде определенной идеальной модели синтеза и превратить ее особенности в своеобразный шаблон для сопоставления с другими предполагаемыми ситуациями объединения теорий. При помощи этого шаблона можно «замерять» степени отклонения других проблемных ситуаций от максвелловской. Можно также пытаться объяснять **причины отклонения** рассматриваемых проблемных ситуаций от максвелловского идеального типа за счет рассмотрения или «внешних» факторов, или факторов «внутренних», или их сочетания. Вполне возможно, что прогресс науки может быть связан с вытеснением «максвелловским» идеальным типом всех остальных. Почему бы и нет ?

В чем же состоят основные особенности максвелловского синтеза, которые могут представлять интерес и для других случаев объединения?

(1) Хорошо известно, что основная цель, которую ставил перед собой Максвелл в период создания своей теории и которая была выдвинута всем предшествующим ходом развития науки, сводилась к поискам **единого способа** описания и объяснения различных аспектов электричества и магнетизма. При построении своей синтетической теории Максвелл, как правило, редко обращался к экспериментальным данным, и использовал в качестве эмпирического материала теоретические знания предшествующего уровня (подробнее см. : Степин, 1976). Он использовал полученные до него теоретические модели и законы электростатики (закон Кулона, закон Фарадея для электростатической индукции), магнитостатики и взаимодействия стационарных токов (закон Био-Савара, закон Кулона для магнитных полюсов, закон Ампера), электромагнитной индукции (закон Фарадея), постоянного тока (законы Ома, Джоуля - Ленца).

(2) Развитая (mature) теория Максвелла строилась на основе **последовательного** синтеза частных теоретических схем Кулона, Ампера и т.д., которые включались в состав теории в **трансформированном** виде и представляли как выводимые из ее фундаментальной теоретической схемы (Степин, 2000). Но в основе твердого ядра максвелловской программы,

целенаправлявшего теоретический поиск, лежали не механическая или электромагнитная картины мира (их, скорее, можно отнести к позитивной и негативной эвристикам этой программы), а учение об **аналогиях**, представлявшее собой **кантовскую эпистемологию**, рассмотренную через призму шотландского реализма. Именно это обстоятельство позволило ему взглянуть на проблему синтеза оптики, электричества и магнетизма под принципиально новым углом в поисках не онтологической, субстанциональной основы электромагнитных взаимодействий, а **математических выражений**, описывающих взаимоотношения электрических и магнитных сил. *У Максвелла электрическое и магнитное поля сохраняют свою относительную независимость друг от друга, не будучи сведены к одной и той же силе или субстанциональной основе. Уравнения Максвелла лишь описывают их взаимоотношения: если существует изменяющееся электрическое поле, существует и изменяющееся магнитное поле, и наоборот.*

Максвелл действительно объединил бы электричество и магнетизм в том случае, когда он продемонстрировал бы, что и та, и другая силы не только качественно объясняются напряжениями и натяжениями одной и той же среды – эфира, - но и вывел бы аналитическое выражение, связывающее, скажем, магнитные и электрические характеристики электрона, константы  $\epsilon$  и  $\mu$  (как он это сделал для случая объединения оптики и электромагнетизма, когда он теоретически рассчитал скорость света через эти константы).

Или, говоря языком Уэвелла, Максвелл объединил бы электричество и магнетизм тогда, когда он продемонстрировал бы для случая электричества и магнетизма то же самое «совпадение индукций», которое он обнаружил для оптики и электромагнетизма. Вот тогда это совпадение индукций, в полном соответствии с уэвелловской методологией, могло бы быть объяснено за счет постулирования единой по своей «природе» силы, которая вызывает эти явления.

Этим обстоятельством максвелловская методология **принципиально** отличается и от томсоновской, и от фарадеевской, и от эрстедовской, и от амперовской, которые «слишком серьезно» относились к онтологиям тех программ, которые они развивали. Максвелл не уставал повторять, что и трубки с несжимаемой жидкостью, и молекулярные вихри – это лишь аналоговые модели, которые в лучшем случае описывают лишь отдельные стороны изучаемых явлений. Как сам Максвелл объяснял в письме к Тэту :

«Природа этого механизма [т.е. молекулярных вихрей] относится к истинному механизму так же, как механизм работы планетария относится к механике солнечной системы».

«Действие на расстоянии»<sup>4</sup>, «несжимаемая жидкость», «молекулярные вихри» - это все были для Максвелла «придуманные аналогии» (“contrived analogies” - Hon and Goldstein, 2012), годные только на то, чтобы направить внимание исследователя на поиск «правильных» математических соотношений : « моя цель состоит в презентации воплощений математических идей (Maxwell, [1858], p.187). Аналогии у Максвелла носят надуманный характер и по сути ничего не иллюстрируют. В этом смысле можно сказать, что Максвелл придал новый смысл понятию «аналогия», близкий к тому, как этот термин употребляется в современной науке.

«науки не стараются объяснить, они даже не пытаются интерпретировать; они в основном пытаются создавать модели. Под моделями подразумеваются математические конструкторы, которые, при помощи определенных вербальных интерпретаций, описывают наблюдаемые явления. Оправдание таких математических конструкторов состоит только в том, что они должны работать» (фон Нейман, 1955; цитируется по : Hon and Goldstein, 2012).

Обычные аналогии характеризуются двусторонним отношением между теми двумя областями, для которых они используются. И ни одна область не занимает привилегированного положения по отношению к другой. В итоге мы можем переходить от первой области ко второй и наоборот.

«Но это свойство не выполняется в максвелловской методологии математических аналогий – она однонаправлена, от фиктивной системы к

физической, когда цель введения фиктивной системы состоит в том, чтобы получить доступ к физической системе и в конечном счете создать для нее математический формализм»(Hon and Goldstein, 2012, 239).

Принцип обычной («физической») аналогии между теориями в двух различных областях, которые идентичны по своей природе, идет от В. Томсона. Но для Максвелла методология аналогии – только инструмент. В противоположность Томсону, обе математически идентичные системы совсем необязательно должны одновременно существовать. В парах подобных систем одна может быть воображаемой («воображаемая жидкость»), а другая – реальной, «физической».

(3) Согласно традиционным представлениям, основное достоинство обычной научной теории – это ее способность «предвосхищать» новые научные факты, которые еще не наблюдались. Но перед синтетической теорией стоит другая задача: объединить не факты, а теории. Поэтому ее достоинство – в предвосхищении не столько фактов, сколько теорий, в приспособлении к новым теоретическим подходам, в способности эти подходы ассимилировать, «включать в себя», пусть даже в существенно преобразованном виде. При этом эти ассимилированные подходы продолжают «жить» в рамках нового теоретического языка, не утратив способности предсказывать свои собственные экспериментальные «факты».

(4) Генезис максвелловской электродинамики был встроен ее создателем в единый процесс **деонтологизации**, начавшийся еще в Новое время с отказа от аристотелевской онтологии. Как писал Галилей, «поиск сущностей я считаю занятием суетным и бесперспективным». Но если истина постигается в опыте, и мы познаем не столько вещи «сами по себе», сколько феномены, необходимо отказаться от допущения самой возможности абсолютного знания. Согласно духу нововременной науки, четко зафиксированному Кантом, сама «являемость вещей в опыте» включает в себе истинно-сущностный характер. Феномены не есть просто сущностные явления, сквозь которые проглядывает так или иначе замутненная сущность;

они есть прежде всего сущее в своем собственном состоянии. Феномены человеческого опыта заключают в себе **всю** полноту постигаемой достоверности.

Следующий шаг в реализации этой «галилеевской» эпистемологической программы был сделан Ньютоном, наотрез отказавшимся от поиска природы всемирного тяготения и давший вместо раскрытия сущности тяготения и объяснения подлинных причин тяготения, просто математически точное описание того, с какой силой разнообразные тела притягиваются друг к другу.

Далее идет сам Максвелл, принципиально отказавшийся от выяснения природы электричества и магнетизма и рассматривавший эфир лишь как элемент модельных представлений, способствующих классификации и аккумулярованию соответствующих «фактов».

Герц пошел еще дальше, пытаясь обосновать точку зрения, согласно которой эфир, как носитель электромагнитных взаимодействий, излишен. Он выбрал теорию Максвелла лишь как самую простую из всех имевшихся альтернативных описаний.

Но оставалась еще другая «онтологическая» функция эфира – быть вместилищем абсолютной системы отсчета. От этой функции освободил физику уже Альберт Эйнштейн, продемонстрировавший, что именно эфир препятствует единственному рассмотрению электричества и магнетизма и **выявлению их симметрии**. Именно Эйнштейн сделал первый шаг (1905) в направлении отказа от рассуждений о природе пространства и времени. Следующий его шаг (1915) состоял в сведении природы гравитационного поля к искривлению пространства-времени, когда компоненты напряженности гравитационного поля стали выражаться через геометрические величины.

(5) Для сравнения различных теоретических схем, созданных при помощи различных теоретических языков, Максвелл был вынужден разработать единый **нейтральный теоретический язык** – язык явлений

гидродинамики, при помощи которого он сконструировал ряд все более усложняющихся моделей. При этом он прекрасно осознавал всю условность использования этого языка для описания электромагнитных явлений. Действительно, используя, выражаясь современным языком, тензорный аппарат механики сплошных сред для подсчета силы, действующей на единичный объем вещества, Максвелл показал, что она состоит из пяти членов. Первый член  $\mathbf{F}_1$  – это сила, действующая на магнитный полюс; второй член  $\mathbf{F}_2$  – сила магнитной индукции; третий и четвертый члены  $\mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4$  – сила, действующая на электрические токи. Но пятый член  $\mathbf{F}_5$  электромагнитного смысла вообще не имеет; это – простое давление. Это еще раз говорит о том, что Максвелл имел дело всего лишь с вихревой **моделью** электромагнитных процессов; какие-то стороны электромагнетизма она описывает, а какие-то – нет.

(6) Именно использование нейтрального языка позволило Максвеллу не только сконструировать систему гибридных объектов, соединяющих оптику и теорию электромагнетизма, но и создать механизм для проверки теоретических следствий и сопоставления их с экспериментом. Тем не менее, связь между синтезом и ростом предсказательной силы теории носит гораздо более сложный и опосредованный характер, чем это представлено в научно-популярной и учебной литературе. Максвелловское «доказательство» тезиса о том, что свет – это электромагнитные волны, носило во многом **качественный** характер. Неслучайно открыватель этих волн – Генрих Герц – долгое время сторонником теории Максвелла себя не считал, а принял эту теорию только тогда, когда сконструировал ее собственный вариант.

(7) Более того, герцевские опыты 1887-1888 гг. по обнаружению и изучению оптических свойств радиоволн не могут рассматриваться как «решающие эксперименты» по выбору между программами Ампера-Вебера и Фарадея-Максвелла. Ни в одной из максвелловских работ не содержится утверждение о существовании как радиоволн, так и других (несветовых) видов электромагнитного излучения.

Далее, сам Максвелл, судя по всему, полагал, что генерирование радиоволн невозможно, и этот вывод открыто поддержали его британские ученики – Фицджеральд, Хевисайд и Лодж. Фарадей и Максвелл отнюдь не были первыми среди тех, кто высказал предположение о существовании электромагнитных волн. Опыты Герца, в которых были открыты радиоволны, были запланированы и проводились в рамках не максвелловской, а гельмгольцевской исследовательской программы.

(8) Именно **взаимодействие теоретической традиции** – гибридной программы Гельмгольца – **с экспериментальной** и привело к получению Герцем весомых экспериментальных результатов, послуживших весьма убедительным аргументом в пользу существования радиоволн. В процессе этого взаимодействия, продолжавшегося более двух лет, встретившиеся теоретическая и экспериментальные традиции постоянно корректировали друг друга. Влияние эмпирической традиции состояло в последовательном отборе наиболее простых по отношению к «фактам» теоретических объяснений. В то же время влияние теоретической состояло в отборе тех экспериментальных фактов, которые представлялись наиболее существенными, и в обозначении перспективных направлений эмпирических исследований.

(9) История становления максвелловской электродинамики свидетельствует о том, что само содержание таких столь милых сердцу философа науки понятий как - «верификация», «фальсификация», «предсказание» - в значительной мере должно рассматриваться в контексте взаимодействия различных традиций между собой.

(10) Максвелловский синтез показывает, что, в отличие от выводов Моррисон, объединение вносит определенный вклад в **подтверждение теории** и делает нашу веру в онтологическое существование некоторых теоретических объектов более крепкой (см. также: Kukla, 1995). В самом деле, раз они выдержали взаимную критику встретившихся теорий, значит в

них «что-то есть». Как отмечал наставник Максвелла, ректор Тринити-колледжа Уильям Уэвелл,

«То, что законы, возникающие в отдаленных и не связанных друг с другом областях, стремятся сойтись друг с другом в одной и той же точке, может происходить только из того, что в этой точке пребывает истина» (Whewell 1847, vol.2, p.65).

Как справедливо полагают унификационисты, «при определенных условиях единство теории может обосновывать реализм о ненаблюдаемых сущностях, которые ей постулируются» (Wayne, 2002, p. 118). Данное утверждение противоречит одному из основных выводов исследования М. Моррисон, согласно которому «объединение не должно связываться с истиной или возросшим правдоподобием истины» (Morrison, 2000, p.232).

(11) Наше исследование подтверждает вывод Моррисон о том, что **прогресс в области объединения не связан с прогрессом в области теоретических объяснений**. Скажем, во многом формальное объединение электричества и магнетизма за счет введение *idle wheels* – свободных заряженных частиц – отнюдь не означало прогресса в области понимания подлинных причин электрических явлений.

Неслучайно многие проницательные критики теории Максвелла, включая П. Дюгема и В. Томсона, отмечали неспособность «Трактата об электричестве и магнетизме» обеспечить ясное и последовательное объяснение электромагнитных явлений, того, из чего состоят полевые величины и как именно они распространяются в пространстве. Аналогично, критики ньютоновского объединения физики Земли и математики Неба указывали на то, что «эта теория позволяла рассчитать все, что угодно, но ничего не объясняла» (Morrison, 2000, p. 106).

(12) Максвелл фактически применял синтетический (но не редуccionистский) способ объединения встретившихся теорий, часто до конца не осознавая этого, поскольку он не мог описывать процесс объединения в соответствующих профессиональных философских терминах.



Он двигался полу-интуитивно (но все-таки более осознанно, чем Фарадей!). Именно для синтетического объединения характерен процесс **взаимопроникновения** встретившихся теорий, когда объекты одной «старой» теории наделяются новыми свойствами при помощи объектов другой «старой» теории, превращаясь в принципиально новые теоретические объекты. Скажем, в процессе проникновения оптики в максвелловскую теорию вихрей эфир стал упругим объектом, превращаясь в «ток смещения».

(13) Опыт максвелловского синтеза позволяет заключить, что случай онтологической редукции вообще «не проходит» для теорий такой степени общности как максвелловская электродинамика. Мы не можем заключить, что Максвелл свел всю оптику к электромагнетизму, равно как и то, что он свел весь электромагнетизм к оптике. Он лишь **положил начало процессу постепенного взаимопроникновения** этих относительно независимо развивавшихся друг от друга дисциплин.

Тем более мы не можем заявить о том, что Максвелл свел электричество к магнетизму или магнетизм к электричеству. И даже то, что он вывел электричество и магнетизм из натяжений эфира. Он действительно хотел вывести, но – не получилось: мы знаем, что в [II] он вынужден был вводить маленькие заряженные частицы, функции которых состояли как в передаче вращения от одной ячейки к другой, так и в несении электрического заряда. Да, впоследствии он действительно вывел все уравнения из специально сконструированного лагранжиана, но перед этим он получил выражение для тока смещения из механической модели и затем «руками» ввел его в лагранжиан.

(14) В свете сказанного выше весьма сомнительным выглядит утверждение «унификационистов» о том, что «теория является объединяющей до такой степени, что она обладает небольшой теоретической структурой по отношению к области охватываемых ей явлений» (Wayne, 2002, p. 118). Двадцать уравнений Максвелла – это действительно немного по сравнению со всем многообразием явлений оптики, электричества и

магнетизма; но вывод из фундаментальной теоретической схемы частных теоретических схем никогда не носит формально-логический характер. Он включает учет особенностей эмпирических ситуаций, т.е. неявно использует феноменологические особенности, относящиеся к экспериментальным установкам.

Как отмечал Ричард Фейнман, «всегда, когда вы слышите подобное эффектное утверждение, что нечто большое можно построить на основе малого числа предположений, - ищите ошибку. Обычно неявно принимается довольно много такого, что оказывается далеко не очевидным, если посмотреть внимательнее» (Фейнман, Лейтон, Сэндс, 1966, т.6,С.262).

(15) Согласно М. Моррисон, действительно объединяющая теория не является **простой конъюнкцией** тех теорий, которые существовали до объединения.

«В случаях истинного объединения у нас имеется механизм или представленный в теории параметр, который играет роль необходимого условия, требуемого для раскрытия связи между явлениями» (Моррисон, 2000,р.32).

В структуре истинно объединяющей теории есть нечто особенное, отличающее ее от псевдо-объединяющих случаев. Этим «нечто», по замыслу Моррисон, является в максвелловском случае ток смещения. С этим выводом Моррисон я полностью согласен. Именно роль этих параметров играют в нашей модели смены т.н. «гибридные объекты», сконструированные из нескольких встретившихся базисных теоретических объектов (подробнее см.: Нугаев, 1989).

Как показано в третьей главе данного исследования, идея тока смещения завершившая формирование максвелловской теории, была введена вовсе не на путях математической гипотезы. Ток смещения – типичный гибридный объект, введенный в результате **встречи** теоретических онтологий оптики и электромагнетизма. Как справедливо отмечал в 1891г. Оливер Хевисайд, «электрический ток в непроводнике был той самой вещью,

которая была необходима для *координации электростатики и электрокинетики* и для того, чтобы **последовательно согласовать** уравнения электромагнетизма».

С нашей точки зрения, тем «каркасом», был в случае максвелловской электродинамики, «*ток смещения*», установивший такие связи между встретившимися теориями, что любое продвижение в рамках одной из них неминуемо вело к изменению содержания другой. И вообще, именно гибридные объекты - **узлы** теоретических традиций - являются теми «каркасами», которые связывают разные встретившиеся программы, обеспечивая поиск и установление плодотворных связей между ними, когда новые результаты, полученные в рамках одной программы, помогают получению новых результатов в рамках другой.

Один из уроков истории максвелловской электродинамики состоит в необходимости различать гибридные объекты второго порядка (*crossbreeds*) и гибридные объекты первого порядка, «смеси» или просто гибриды (*hybrids*). Гибридные объекты второго порядка, подобные «току смещения», являются результатом скрещивания базисных объектов встретившихся теорий. А просто гибриды, подобные максвелловским теоретическим схемам в статье 1861г., описывавшим взаимодействие эфирных вихрей с молекулами – это смеси, составленные из разнородных элементов. Только гибридные объекты второго порядка сохраняются при всех дальнейших развитиях теории. «Просто гибриды» представляют собой источники постоянной головной боли для теоретиков, но одновременно являются и движущей силой развития теории. Так, в частности, стремление ослабить дуализм максвелл-лоренцевской электродинамики привело к созданию специальной теории относительности.

(16) Создавая свою электродинамику, Максвелл фактически использует **принцип соответствия**. В его вихревой модели в работе [III] тензорный аппарат механики сплошных сред позволяет рассчитать силу действующую на единичный объем вещества :  $\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 + \mathbf{F}_5$ . Она

состоит из пяти членов. Первый член  $F_1$  – это сила, действующая на магнитный полюс; второй член  $F_2$  – сила магнитной индукции; третий и четвертый члены  $F_3 + F_4$  – сила, действующая на электрические токи. Рассчитывая силу в каждом отдельном случае, он сравнивает ее значение с теми, которые были получены предыдущими авторами, в «старых» теориях. При этом он демонстрирует, что принцип соответствия означает переполучение в «новой» теории лишь математических соотношений; «онтологии» новой и старой теорий друг в друга не переходят.

Таким же образом, впоследствии Эйнштейн, например, продемонстрировал, что в теории тяготения принцип соответствия означает лишь переход математических соотношений общей теории относительности в математические соотношения ньютоновской теории гравитации в предельном случае слабых гравитационных полей.

(17) Вполне возможно, что Максвелл был «сыном своего времени» не только потому, что активно использовал идеи кантианской эпистемологии. Это только для логики научного познания важно, что переход от механической научной картины мира к электромагнитной был подготовлен всем предшествующим развитием физики. Но если тщательно проанализировать причины того, почему именно Максвелл осуществил этот переход, то придется возможно привлечь также и факторы психологического и социокультурного характера.

В частности, настойчивая попытка Максвелла найти *компромисс* между континентальной и британской исследовательской традициями во многом может объясняться его этническими корнями. Как подданный Великобритании, лорд Максвелл получил высшее образование и докторскую степень в лучшем английском – кембриджском – университете. С другой стороны, как шотландский патриот, он сделал объектом своей первой цветной фотографии цвета национального шотландского флага. Известны также его критические высказывания о колониальной политике Великобритании в Индии (Campbell & Garnett, 1882).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Больцман Людвиг* (1952а) Комментарии к статье Максвелла «О фарадеевских линиях сил». – В сб. : Дж. К. Максвелл. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. (Перевод З.А. Цейтлина). - М.: гос. изд-во технико-теоретической литературы. - 1952. – С. 89-106.

*Больцман Людвиг* (1952 б) Комментарии к статье Максвелла «О физических линиях сил». – В сб. : Дж. К. Максвелл. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. (Перевод З.А. Цейтлина). - М.: гос. изд-во технико-теоретической литературы. - 1952. – С. 194-250.

*Борк А.М.* (1968) Максвелл, ток смещения и симметрия. – В сб.: Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука. – С. 305-317.

*Вебер Макс* (1989) Избранные произведения. – М.: Мысль.1989.- 689с.

*Герц Г.Р.* (1938) Исследования о распространении электрической силы. М.-Л. – 156с.

*Герц Г.Р.* (1959) Принципы механики, изложенные в новой связи. М.: Изд. АН СССР. – 388с.

*Кант Иммануил* [1783]. Прологомены ко всякой будущей метафизике, могущей появиться как наука. (Пер. Вл. Соловьева, 1893). – В сб.: Иммануил Кант. Трактаты. – Спб.: Наука, 2006. – С.147-258.

*Кант Иммануил* [1787]. Критика чистого разума. Второе издание. (Пер. Н. Лосского).- М.: Эксмо, 2006. – 735с.

*Максвелл Джеймс Клерк* (1952) Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. (Перевод З.А. Цейтлина). - М.: гос. изд-во технико-теоретической литературы. - 691 с.

*Максвелл Д.К.* [1873] О действиях на расстоянии. - В сб. : Максвелл Д.К. Статьи и речи. – М.: Наука,1968. С.48-62.

*Максвелл Д.К.* (1968) Эфир. – В сб. : Максвелл Д.К. Статьи и речи. – М.:

Наука, С.193-206.

*Нугаев Р.М.* (1989) Реконструкция процесса смены развитых научных теорий. – Казань: изд-во КГУ. – 208с.

*Нугаев Р.М.* (2010) Эйнштейновская научная революция 1898-1915: интертеоретический контекст. – Казань: изд-во «Логос». – 299с.

*Нугаев Р.М.* (2012) Коперниканская научная революция: синтез физики Земли и математики Неба. – Казань: изд-во «Логос». – 302с.

*Пайерлс Р.Э.* (1968) Теория поля со времени Максвелла. – В сб. : Максвелл Д.К. Статьи и речи. – М.: Наука. – С.270-287.

*Сергеев К.А.* (2006) Философия Канта и новоевропейская метафизическая позиция. – В кн.: Иммануил Кант. Трактаты. – Спб.: Наука. – С.5-146.

*Степин В.С.* (1976) Становление научной теории. (Содержательные аспекты строения и генезиса теоретических знаний физики). – Минск: изд-во БГУ. – 320с.

*Степин В.С.* (2000) Теоретическое знание. – М.: Прогресс-Традиция. – 744 с.

*Тулмин Стефен* (1984) Человеческое понимание. – М.: Прогресс. – 328с.

*Шапиро И.С.* (1972) К истории открытия уравнений Максвелла //Успехи физических наук, том 108, вып.2. С.319 -333 .

*Фарадей М.* (1939) Избранные работы по электричеству.- М.-Л.-304с.

*Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* (1966) Фейнмановские лекции по физике, тт.5,6. – М.: Мир.

*Эйнштейн А.* [1931] Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности. – В сб. : Д.К. Максвелл. Статьи и речи. – М.: Наука, 1968. – С.243-247.

*Audi Robert* (ed.)(1999) The Cambridge Dictionary of Philosophy. Cambridge, Cambridge University Press. – 1000 p.

*Bromberg J.* (1967- 68) Maxwell's Displacement Current and the Theory of Light// Archive for History of Exact Science, vol. 4, pp.218-234.

*Buchwald J.* (1985) From Maxwell to Microphysics: Aspects of Electromagnetic Theory in the last Quarter of the 19<sup>th</sup> century. University of Chicago Press.-339p.

*Buchwald Jed Z.* (1994) The creation of scientific effects: Heinrich Hertz and electric waves. The university of Chicago Press. – 465p.

*Buchwald Jed Z.* (1998) Reflections on Hertz and Hertzian Dipole – In: D. Baird et al. (eds.) Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher. Kluwer, pp. 269-280.

*Campbell Lewis, Garnett William* (1882) The Life of James Clerk Maxwell. L., Macmillan.-342p.

*Chalmers A.F.* (1975) Maxwell and the displacement current // Physics Education. January 1975, pp.45-49.

*Chalmers A.F.* [1976], (2007). What is this thing called Science? University of Queensland Press. – 266p.

*Chalmers Alan* (2001) Maxwell, Mechanism and the Nature of Electricity// Physics in Perspective, vol. 3, no 4, pp. 425-438.

*Coffa Alberto J.* (1993) The Semantic Tradition from Kant to Carnap: to the Vienna Station. Cambridge University Press. – 460p.

*D'Agostino Salvo* (1975) Hertz's Researches on Electromagnetic Waves // Historical Studies in the Physical Sciences, vol. 6, pp.261-323.

*D'Agostino Salvo* (1984) Maxwell's Dimensional Approach to the Velocity of Light: Rise and Fall of a Paradigm. – In: S.D'Agostino and S.Petruccioli (eds.) Mathematical Models and Physical Theories. Rome, Accademia Nazionale Delle Scienze. pp. 147-167.

*Darrigol Olivier* (2002) Electrodynamics from Ampere to Einstein. Oxford University Press. – 515p.

*Dr. Bence Jones* (1870) Faraday's Life and Letters.vol.1, 2. Philadelphia, J.D. Lippincott. - 385p.

*Einstein A.* [1905a] Über eine die Erzeugung und verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt // Annalen der Physik, , vol.17, pp.132-148. Имеется русский перевод: Эйнштейн А. Об одной точке зрения, касающейся возникновения и превращения света. – Собр. соч., т.3. М., 1966, С. 92 – 107. Имеется английский перевод Анны Бек (Anna Beck) в сборнике:

The Collected papers of Albert Einstein. Vol. 2. The Swiss years: writings, 1900 – 1909. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1989, pp. 86 – 103.

*Einstein A.* (1905b): Zur Elektrodynamik bewegter Körper // *Annalen der Physik*. vol.17, pp. 891 - 921. English translation in: *The Principle of Relativity*, Dover, New York, 1923. Имеется перевод: Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. – Собр. соч., т.1. М., 1965, с. 7 – 35. Использован также перевод Анны Бек (Anna Beck) из сборника: *The Collected papers of Albert Einstein. Vol. 2. The Swiss years: writings, 1900 – 1909.* Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1989, pp. 140 - 171.

*Einstein A.* [1909] *Über die Entwicklung unserer Anschauungen über das Wesen und die Konstitution der Strahlung* // *Physikalische Zeitschrift*, vol.10, pp.817-825. Имеется русский перевод: Эйнштейн А. О развитии наших взглядов на сущность и структуру излучения. – Собр. соч., т.3. М., 1966, С. 181 – 195.

*Einstein Albert* (1931) *Maxwell's Influence on the Evolution of the Idea of Physical Reality*. In *James Clerk Maxwell: A Commemorative Volume*. Cambridge University Press.

*Faraday M.* (1846) *Thoughts on Ray-Vibrations*// *Philosophical Mag.* (3), XXVIII, № 188, p.345.

*Forster Malcolm* (1988) *Unification, Explanation and the Composition of Causes in Newtonian Mechanics* // *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 19, pp. 55-101.

*Friedman Michael* (1983) *Foundations of Space-Time Theories*. Princeton University Press. - 385p.

*Glymour Clark* (1980) *Explanations, Tests, Unity and Necessity*// *Nous*, vol. 14, pp. 31-50.

*Harman P.M.* (2001) *The Natural Philosophy of J.C.Maxwell*. Cambridge University Press. - 228p.

*Helmholtz H.* [1870] *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Barth, 1882, vol.1, pp.611-628.



*Helmholtz H.* (1899). Preface. – In : Heinrich Hertz. *The Principles of Mechanics*. L., Macmillan and Co. -pp. VIII-XIII.

*Hertz H.* [1884] On the Relations between Maxwell's Fundamental Electromagnetic Equations and the Fundamental Equations of the Opposing Electromagnetics. – In: Heinrich Hertz. *Miscellaneous Papers*. L., Macmillan and Co, 1896, pp. 273-290.

*Hertz H.* [1887] On Very Rapid Electrical Oscillations. – In : Heinrich Rudolph Hertz. *Electrical Waves*, L., 1893, pp. 29 - 53.

*Hertz H.* [1888a] On the Finite Velocity of Propagation of Electromagnetic Actions. – In : Heinrich Rudolph Hertz. *Electrical Waves*, L., 1893, pp. 107-123.

*Hertz H.* [1888b] On Electromagnetic Waves in Air and Their Reflection. – In : Heinrich Rudolph Hertz. *Electrical Waves*, L., 1893, pp. 124-136.

*Hertz H.* [1889a] The forces of Electric Oscillations, Treated According to Maxwell's Theory. – In: Heinrich Rudolph Hertz. *Electric Waves*. L., Macmillan, 1893, pp. 137-159.

*Hertz H.R.* [1889b] On the Relations between Light and Electricity. – In : Heinrich Hertz. *Miscellaneous Papers*. L., Macmillan, 1896, pp. 313- 324.

*Hertz H.R.* [1890a] On the Fundamental Equations of Electromagnetics for Bodies at Rest. – In : Heinrich Rudolph Hertz. *Electric Waves*. L., Macmillan, 1893, pp.195-240.

*Hertz H.R.* [1890b] On the Fundamental Equations of Electromagnetics for Bodies in Motion. – In : Heinrich Rudolph Hertz. *Electric Waves*. L.,Macmillan, 1893, pp.241-268.

*Hertz Heinrich Rudolph* (1893) *Electric Waves*. L., Macmillan. – 297p.

*Hertz Heinrich Rudolph* (1896) *Miscellaneous Papers*. London : Macmillan. – 340p.

*Hertz Heinrich* (1899) *The Principles of Mechanics presented in a new form* (translated by D.E. Jones). L., Macmillan. - 308p.

*Hon, Giora, and Bernard R. Goldstein* (2012) Maxwell's contrived analogy: An early version of the methodology of modeling// *Studies in History and Philosophy*

of Modern Physics, vol. 43, pp.236–257.

*Hunt Bruce J.* (2005) *The Maxwellians*. Cornell University Press. – 280p.

*Kitcher Philip* (1981) *Explanatory Unification*// *Philosophy of Science*, vol.48, pp. 507-531.

*Kukla Andre* (1995) *Scientific Realism and Theoretical Unification*// *Analysis*, vol.55, pp. 230-238.

*Kuhn T.S.* (1977) *Objectivity, Value Judgement and Theory Choice*. - In: *The Essential Tension*. University of Chicago Press, pp. 320 – 339.

*Lakatos Imre* (1978) *The Methodology of Scientific Research Programmes*. *Philosophical Papers*, volume 1. Edited by J. Worral & G. Currie, CUP. - 254p.

*Mahon Basil* (2003) *The Man Who Changed Everything. The Life of James Clerk Maxwell*. John Wiley. – 215p.

*Mamchur E.A.* (2010) *Contradictions, Synthesis and the Growth of Knowledge*// *International Studies in the Philosophy of Science*, vol.24, number 4, pp.429-435.

*Maxwell J.C.* [1856] *On Faraday's Lines of Force* // *The Transactions of the Cambridge Philosophical Society*, vol. X, part 1. Reprinted in “*The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*”, 1890, vol. 1, pp. 155-229.

*Maxwell J.C.* [1861] *On Physical Lines of Force* // *Philosophical Magazine*, vol. XXI. Reprinted in “*The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*”, 1890, vol.1, pp.451-513.

*Maxwell J.C.* [1864] *Dynamical Theory of Electromagnetic Field*. Reprinted in “*The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*”, 1890, vol. 1, pp.526-597.

*Maxwell J.C.* [1868] *Note on the Electromagnetic Theory of Light* // *Philosophical Transactions*, vol. CLVIII. Reprinted in “*The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*”, 1890, vol 2, pp.137-142.

*Maxwell J.C.* [1870] *Address to the mathematical and physical sections of the British Association*. Liverpool, September 15, 1870. Reprinted in “*The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*”, 1890, vol.2, pp.215-219.

*Maxwell, James.* [1873] *On Action at a Distance*. Reprinted in “*The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*”, 1890, vol. 1, 315-320.

- Maxwell J.C.* [1877a] Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz// *Nature*, vol. XV. Reprinted in “The Scientific Papers of James Clerk Maxwell”, 1890, vol.2, pp.592-598.
- Maxwell J.C.* [1877b] Ether. *Encyclopedia Britannica*. Reprinted in “The Scientific Papers of James Clerk Maxwell”, 1890, vol.2, pp.763-775.
- Mertz John Theodore* (1964) *A history of European Thought in the Nineteenth Century*, 4 vols. Edinburgh: William Blackwood and Sons, 1903-1912. Vols 1 and 2 reprinted as “A History of European Scientific Thought in the Nineteenth Century. NY, Dover. – 850p.
- Morrison Margaret* (2000). *Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures*. Cambridge University Press.- 270p.
- Nersessian Nancy J.* (1985) Faraday’s Field Concept. – In: Gooding David & James Frank A.J. (eds.) *Faraday Rediscovered*. NY, pp.377-406.
- Niven W.D.* (1890) A Preface to “The Scientific Papers of J.C. Maxwell”. Cambridge: Cambridge University Press, vol.1, pp. I – XIII.
- Nugayev Rinat M.* (1985) The History of Quantum Theory as a Decisive Argument Favoring Einstein over Lorentz // *Philosophy of Science*, vol. 52, pp. 44 – 63.
- Olson Richard* (1975) *Scottish Philosophy and British Physics, 1750-1880: A Study in the Foundations of the Victorian Scientific Style*. Princeton, NJ, Princeton University Press.-349p.
- Papas Charles* (1988) *Theory of Electromagnetic Wave Propagation*. N.Y. : Dover. – 272p.
- Patton Lydia* (2009) Signs, Toy Models and the A Priori: from Helmholtz to Wittgenstein // *Studies in History and Philosophy of Science*, 40(3), pp.281-289.
- Pearce Williams L.* (1965) *Michael Faraday, a biography*. N.Y., Basic Books. – 531p.
- Pearce Williams L.* (1966) *The origins of field theory*. L., Random House. – 148p.
- Russell Colin. *Michael Faraday: physics and faith*. Oxford University Press, 2000.- 128p.

*Sengupta D.L., Sarkar T.K.* (2003) Maxwell, Hertz, the Maxwellians, and the Early History of Electromagnetic Waves // IEEE Antennas and Propagation Magazine, April, vol. 45, №2, pp.12-16.

*Siegel Daniel M.* [1991] Innovation in Maxwell's electromagnetic theory: molecular vortices, displacement current, and light. Cambridge University Press. - 229 p.

*Smirnov-Rueda Roman* (2001) Were Hertz's "crucial experiments" on propagation of electromagnetic interaction conclusive? – In: Instantaneous Action at a Distance in Modern Physics: pro and contra. Andrew E. Chubykalo, Viv Pope, Roman Smirnov-Rueda (eds.), Nova Science Publishers, N.Y., pp.57-69.

*Thomson W., Taite P.* (1867) A Treatise on Natural Philosophy. L., Clarendon Press. – 727p.

*Snyder Laura S.* (2012) William Whewell. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, winter edition.

*Thomson W.* (1905). On Aether //Proc. Roy. Soc. Edinb., XXV, p.565.

*Watkins John* (1984) Science and Scepticism. Princeton University Press. – 406p.

*Wayne Andrew* (2002) Critical Notice// Canadian Journal of Philosophy, vol.32, № 1, March, pp.117-138.

*Weber W.* (1846) Elektrodynamische maasbestimmungen. Uber ein allgemeines Grundgesetz der Elektrischen Wirkung. – In : W.Weber. Werke, Berlin, 1893, Dritten Band, pp. 25-211.

*Whewell William* (1847) The Philosophy of Inductive Sciences, founded upon their history, in 2 volumes. Second edition. L., John W. Parker and son.

*Whewell William* (1860) On the Philosophy of Discovery. Chapters Historical and Critical. L., John W. Parker and son. – 403p.

*Whittaker Edmund Taylor* (1910). A history of the theories of aether and electricity : from the age of Descartes to the close of the nineteenth century. L., N.Y., Longmans, Green and Co. – 470 p.

**Rinat M. Nugayev. Maxwellian Scientific Revolution: Reconciliation of Research Programmes of Young-Fresnel, Ampere-Weber and Faraday. – Kazan, 2013. -183 p.**

Abstract. Maxwellian electrodynamics genesis is considered in the light of the author's theory change model previously tried on the Copernican and the Einstein revolutions. It is shown that in the case considered a genuine new theory is constructed as a result of the old pre-maxwellian programmes reconciliation: the electrodynamics of Ampere-Weber, the wave theory of Fresnel and Young and Faraday's programme. The "neutral language" constructed for the comparison of the consequences of the theories from these programmes consisted in the language of hydrodynamics with its rich content of analogous models ranging from the incompressible fluid up to molecular vortices. The programmes' meeting led to construction of the whole hierarchy of crossbred objects beginning from the displacement current and up to common hybrids. After that the interpenetration of the pre-maxwellian programmes began that marked the beginning of theoretical schemes of optics and electromagnetism unification. Maxwell's programme did assimilate some ideas of the Ampere-Weber programme, as well as the presuppositions of the programmes of Fresnel and Faraday; and the significance of this fact for further methodology of scientific research programmes development is discussed.

It is argued that the core of Maxwell's unification strategy was formed by Kantian epistemology looked through the prism of William Whewell and such representatives of Scottish Enlightenment as Thomas Reid and William Hamilton. All these enabled Maxwell to start to unify not only optics and electromagnetism, but British and continental research traditions as well. Maxwell's programme did supersede the Ampere-Weber one because Maxwell did put forward as a synthetic principle the idea, that differed from that of Ampere-Weber by its flexible and contra-ontological, strictly epistemological, Kantian character. For Maxwell, ether was not the last building block of physical reality, from which fields and charges should be constructed. "Action at a distance", "incompressible fluid", "molecular vortices" were only analogies for Maxwell, capable to direct the researcher on the "right" mathematical relations. From the "representational" point of view all this hydrodynamical models were doomed to failure efforts to describe what can not be described in principle – things in themselves, the "nature" of electrical and magnetic phenomena. On the contrary, Maxwell aimed his programme to find empirically meaningful mathematical relations between the electrodynamics basic objects, i.e. the creation of inter - coordinated electromagnetic field equations system.

Namely the application of this epistemology enabled Hermann von Helmholtz and his pupil Heinrich Hertz to arrive at such a version of Maxwell's theory that served a heuristical basis for the radiowaves discovery.

## TABLE OF CONTENTS

<b>INTRODUCTION.</b> Is it really necessary to create a new rational reconstruction of maxwellian electrodynamics genesis? .....	4
<b>CHAPTER ONE.</b> Maxwell's genuine methodology of synthetic global theory construction .....	39
<b>CHAPTER TWO.</b> The Maxwellian programme beginning: "On Faraday's Lines of Force" (1856).....	74
<b>CHAPTER THREE.</b> The Maxwellian programme intermediate stage : "On Physical Lines of Force" (1861-1862).....	86
<b>CHAPTER FOUR.</b> The Maxwellian programme final stages. ....	113
<b>CHAPTER FIVE.</b> Empirical Justification of Maxwellian Electrodynamics: Helmholtz and Hertz.....	128
<b>EPILOGUE.</b> Maxwell and Einstein.....	144
<b>CONCLUSION.</b> The Maxwellian programme reconstruction as a philosophy of science problem.....	149
<b>REFERENCES</b> .....	165

**Rinat M. Nugayev. Maxwellian Scientific Revolution: Reconciliation of Research Programmes of Young-Fresnel, Ampere-Weber and Faraday. – Kazan, 2013. -183 p.**

**In the first chapter** “*Maxwell’s genuine methodology of synthetic global theory construction*” Maxwell’s predecessors – Hans Christian Oersted, Andre Marie Ampere, Michael Faraday and William Thomson – are considered. It is argued that Maxwell’s Weltanschauung differed drastically from their world pictures by the extraordinary high level of philosophical culture. A brilliant student at Edinburgh and Cambridge and a post-graduate at Cambridge was enchanted by a profound skepticism of David Hume, George Berkley and Immanuel Kant at the lectures of Sir William Hamilton on mental philosophy at Edinburgh University. Hamilton was one of the outstanding representatives of Scottish “common sense philosophy”, an heir of Thomas Reid and James Stewart. Denying Hume’s skepticism, Hamilton did his best to find a compromise between Kant’s relativism and Reid’s realism; and it was namely that that Maxwell have pointed out as a basic tenet of his metaphysical programme on moving from Edinburgh to Cambridge: “4. Metaphysics – Kant’s Kritik of Pure reason in German, read with a determination to make it agree with Sir W. Hamilton...”. A more detailed exposition of Maxwell’s research programme that he had followed through all his life is given in his truly philosophical works – in a speech “Are There Real Analogies in Nature?” read at the “Apostles” Cambridge club in 1856 (just after the publication of his most profound paper “On Faraday’s Lines of Force”, 1855-1856) – and in his paper “Helmholtz” (1877).

Following Hamilton’s traditions, Maxwell tried to find his own way between the Scylla of Kantian transcendentalism and the Charybdis of Scotch common sense realism. Strong psychological tendencies in the Scottish Common Sense tradition admitted reconciliation with logical and analytical trends of Kant’s philosophy.

Maxwell’s synthetic methodology was shaped by William Whewell also. Such principles as the active role of human reason in scientific cognition, the relativity of facts and theory, of ideas’ laidness of observation, of connection of deduction and induction in the colligation process and the “coincidence of inductions” are common both for Maxwell and Whewell. Yet there were important differences due to Maxwell’s preoccupation with Scottish Enlightenment.

Thus, Maxwell’s methodology was based on the following principles extracted from Kant, Whewell and Scottish common sense realism

- (I) «principle of relativity of scientific truth»;
- (II) «principle of theory laidness of observation»;
- (III)«principle of cross-fertilization of the sciences» : only those notions can survive that can help to unify and interpenetrate different theories;

(IV) «the daubing of untempered mortar elimination» principle : one should eliminate the notions that hinder the unification process.

**In the second chapter** “*The Maxwellian programme beginning: “On Faraday’s Lines of Force” (1856)*” the initial stages of Maxwell’s synthetic programme are considered. His 1856 paper was dedicated to elaboration of the “*physical analogies*” method based on Kantian epistemology. The method rejected the “ontological” approaches looking for the “essences” of electrical and magnetic phenomena and proclaiming that “in reality” electricity and magnetism are “fields” and not “action at a distance” phenomena, or vice versa.

Maxwell’s first 1856 innovation consisted in proposal to consider Faraday’s lines of force as a kind of tubes filled with ideal incompressible fluid. It is crucial for a Kantian that this incompressible fluid has nothing to do with experimental reality. The single constrain on the models proposed consists in the demand that the mathematical constructs should not contradict each other. In all the other matters the physical analogies method admits an unlimited freedom of imagination. Even the conservation laws can be broken down.

And in the other parts of the paper Maxwell shows the ways by which the idea of incompressible fluid motion can be applied to the domains of statical electricity, permanent magnetism, magnetism of induction, and uniform galvanic currents. His second 1856 innovation consisted in the construction of “neutral language” for description and comparison of the consequences from the rival theories and competing theoretical models. Maxwell’s “neutral language” was not Carnap’s and Reichenbach’s “observation language” springing out from the “protokolsatze” generalizations. Maxwell is aware of the theory- ladenness of the observation data.

In order to compare and to unite in a theoretical scheme lacking contradictions all the results of the different experiments carrying the footprints of different theoretical languages, it was necessary to construct an artificial theoretical language equally distant from the languages of theories under comparison. This language appeared to be the solid state mechanics (with hydrodynamics as its part). Maxwell’s ultimate aim was to rewrite all the known empirical and theoretical laws of electricity and magnetism using the neutral language and then to compare them in order to create a system without contradictions.

The final result of the 1856 paper was a system of equations lacking the “displacement current”. It was not accidental that one of the incompressible fluid model main drawbacks consisted in that the latter, apart from some simple cases, was unable to explain interrelations and interactions of electrical and magnetic fields and electric currents, as well as Faraday’s (1845) interconnection between optical and electromagnetic phenomena.

Maxwellian programme’s ultimate goal was to reveal the connection “between electricity at rest and current electricity” absent in the Ampere-Weber electrodynamics. Was it reached in 1856? – Certainly not. The connection between the current density  $\mathbf{j}$  and the charge density  $\rho$  was lacking in Maxwell’s initial 1856



scheme. It was to appear later, after the “displacement current” introduction and finding out its consequence – the continuity equation  $\text{div } \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ .

**In the third chapter** “*The Maxwellian programme intermediate stage : “On Physical Lines of Force” (1861-1862)*” the results of Maxwell’s 1861-1862 paper consisting of four parts are described. Its aim was to rederive the results of Weber and Neumann theories on the basis of a new mechanical model containing the vortices of incompressible fluid.

The model started from W. Thomson’s investigations; he showed that the connection between magnetism and electricity has the same mathematical form as that between certain parts of phenomena, of which one has a linear and the other a rotatory character. It is important that W. Thomson introduced the vortices model in incompressible fluid while studying Faraday’s experiments on the rotation of the plane of polarized light when transmitted along the lines of magnetic force. So, they were the efforts to theoretical reconstruct the Faraday effect that provided the meeting of optics and theory of magnetism.

In the second Maxwellian model the magnetic field was represented now by a set of vortices in incompressible fluid with the axes of rotation coinciding with the direction of magnetic field at a point. But now a role of neutral language is played not by tube hydrodynamics but by a theory of stresses in the medium where the necessary relations among the forces are described by mathematicians with the help of tensors.

But one of the most intricate problems of the vortices model was: how can the rotation be transferred from one vortex to another so that “vortices in a medium exist side by side, revolving in the same direction about parallel axis”? – The only conception that aided Maxwell in conceiving this kind of motion was that of the vortices being separated by a layer of particles called the “idle wheels”. Is it possible to connect these particles to electricity?

And in the second part of his 1861/1862 paper “The Theory of Molecular Vortices applied to Electric Currents” Maxwell comes up to the hardest problem of his research programme : what is “the physical connexion of these vortices with electric currents, while we are still in doubt as to the nature of electricity?”. It is this point where Maxwell has to admit the principal limits of pure mechanical models and to borrow the elements of action at a distance theory. We can conclude that Maxwell had to construct the “crossbred models” from the languages of both cross-theories that combine the properties of quite different theoretical schemes.

According to Maxwell’s model, an electric current is represented by the transference of the moveable particles interposed between the neighboring vortices. On introducing such abstract objects as “electrical particles” and “electric current representing the motion of such particles” Maxwell had deviated significantly from Faraday’s notions. According to Michael Faraday, the electrical charges should be considered as created by the ends of lines of force; they lack an independent substantial existence. Correspondingly, in his *genuine* research programme the electric current has to be considered not as the motion of real

particles but as an “energy axis”.

This is the nub of the British field programme: the fields are primary, and the particles are only secondary. Maxwell’s eclecticism was followed by H.A. Lorentz’s dualism. It was not a temporary retreat. Even after 1861 Maxwell many times introduced the notions of the Ampere-Weber atomism into his theories.

Yet the results obtained were of course insufficient: the theoretical derivation of Coulomb’s law was lacking. Namely that was done in the third part of 1861/1862 paper “The Theory of Molecular Vortices applied to Statical Electricity”. It is important that the vortices model contained too many ad hoc assumptions. And now we come closer to “*Maxwell’s miracle*”. It appeared that if we in the course of Fresnel optics and electromagnetism theory meeting transpose the ether properties from optics to electromagnetism, we can eliminate at least one ad hoc supposition. The extrapolation of the molecular vortices theory on the electrostatic domain became possible due to the elasticity of the vortices that enabled the medium to maintain the elasticity waves.

The displacement current introduction was due to Maxwell’s efforts to link the equations relating to electrical current with that of electrostatics, which demanded the Ampere law modification for the sake of a new term introduction; the term had to describe the elasticity of the vortices medium. The displacement current introduction driving force came from Maxwell’s efforts to unify all the main empirical laws belonging not only to electricity and magnetism but to optics as well.

As a result Maxwell obtained his famous system of equations along with the continuity equation. The latter stated that electrical particles that transform the rotations from one vortex to another do not appear from nothing and cannot disappear to nowhere. But one could not declare any final unification of optics and electromagnetism in 1861-1862. It was possible to tell only on the beginning of their reconciliation, on the beginning of “grinding” of rather different theoretical ontologies.

As a result Maxwell did not explain where the electromagnetic waves come from. He did demonstrate only that his elastic vortex medium is capable to propagate electromagnetic waves with the velocity that can be calculated with the help of electromagnetic constants so that it is approximately equal to the velocity of light.

**In the fourth chapter** “*The Maxwellian programme final stages*” a modified version of 1861/1862 paper that avoided any special suppositions on the nature of molecular vortices is described. Here Maxwell derives his equations from abstract dynamics of Lagrange. From those he was able to derive the basic wave equation of electromagnetism without any special assumptions about molecular vortices or forces between electrical particles. Although displacement retained a prominent position in “A Dynamical Theory of Electromagnetic Field”, its role was rather different from the role it played in 1861-1862 paper. It was no longer associated with changes in positions of rolling particles; rather, Maxwell defined it simply as the motion of electricity, that is, in terms of a quantity of charge

crossing a designated area.

However, despite Maxwell's claim to provide deductions from (three) experimental facts, his account still required the postulation of a displacement current, something that could neither be verified by nor deduced from experiment.

Maxwell's last work was his "Treatise" designed as an encyclopedia of electricity and magnetism. He points out that Faraday's views even described using the math language are no better than those of Ampere and Weber and should also be included as mere partial theoretical schemes. It is here that a kind of "principle of complementarity" is applied. Maxwell understood that the entities we call "objects", "forces", "particles" and "fields" are only **our own** means of the reality description. Reality is inaccessible to our senses and can be described only using the math language. The latter can describe not the global ontological properties of the reality itself but the connections of its parts only.

However on twenty pages of his "*Treatise*" chapter Maxwell gave a detailed Lagrangian treatment for interacting closed conduction currents only. And when, two chapters later, he came to build on his Lagrangian formulation to write down the *general* equations of his electromagnetic theory, he simply added the displacement to the conduction current "by hands" to provide the total current .

But this move by Maxwell in fact undermined the major attraction of his Lagrangian method .The first direct experimental evidence for the existence of displacement currents emerged only with Hertz's experiments culminating in radio waves production in 1888.As always, the Lagrangian formulations were retroactive attempts to accommodate results obtained by other means.

Thus, in his encyclopedia on the phenomena of electricity and magnetism Maxwell sums his results up. His Copernican deeds consisted in combining arguments for electromagnetic and luminiferous ethers' identification and constructing the crossbred theory with displacement current that was capable of electromagnetism and optics unification.

Nicolas Copernicus had pioneered in considering the Earth as an ordinary planet orbiting the Sun; hence he had created a crossbred theoretical object capable of extrapolating the mathematical principles from divine phenomena on the mundane ones. On the other hand, through the same crossbred object the physical principles were extrapolated from mundane objects on the skies. Similarly, James Maxwell had constructed a crossbred object – the displacement current - and was able to extrapolate the electromagnetic principles on the optical phenomena, and vice versa.

Eventually Maxwell found that his elastic vortex medium would propagate waves whose velocity , calculated from electromagnetic constants, was that of light. Yet he said nothing about how electromagnetic waves might be generated, nor did he attempt to derive the laws governing reflection and refraction. Hence the task of extracting a cogent theory from the "*Treatise*" and of casting it into a form in which it could command general assent fell to others ("the Maxwellians").

Their conclusion was inescapable: if Maxwell's theory were to survive, it had to be cut loose from reliance on an elastic solid ether and given a

fundamentally new basis. Attempts to produce a ‘hybrid’ theory, such as Maxwell had pursued in his 1879 account of the Faraday effect, had to be abandoned” .

**In the fifth chapter** “*Empirical Justification of Maxwellian Electrodynamics: Helmholtz and Hertz*” it is argued that, due to Kantian background, Maxwell’s programme development was especially fruitful in Germany. Maxwell’s efforts to find a reasonable compromise between the three research programmes (that of Young-Fresnel, Faraday and Ampere-Weber) were picked up by Hermann Helmholtz. In Helmholtz’s paradigm charges and currents were considered as the sources of electrical and magnetic fields.

Furthermore it was Hermann Helmholtz who convinced Berlin Academy of Science to set up a special prize for experimental confirmation of Maxwell’s theory. And it was Helmholtz’s pupil Heinrich Hertz who got the prize in 1888. From two possible explanations of his experiments Hertz had chosen the simplest one .It seems to me that it was namely the attempt to justify the rationality of choosing the simplest explanation that forced Heinrich Hertz after 1888 to give up his electromagnetic experiments fruitful both from heuristic and technological vistas and to devote the last three years of his short life to extremely ambitious project of classical mechanics rebuilding. It is important that the methodological principles for the rebuilding were to be found by Hertz in Kantian epistemology; even before he met Helmholtz, Hertz had attended in Dresden a course on Kantian philosophy.

Hertz’s Kantian background manifested itself not only in the epistemological values directing his experiments. What is more important, quite unlikely Maxwellian field theory, in Hertz’s empirical schemes the source continued to exist as an entity in and of itself. In Hertz’s 1888 paper diagram the material object remains unknown, whereas the inferred field is known. This diagrammatic inversion encapsulates the originality of Hertz’s physics. It was because Hertz ignored the physical character of the object that produced his radiation , since he “boxed it in with a mental quarantine against asking questions against it” (Buchwald) – he was able to make progress where his British contemporaries had failed. Being a pupil of Helmholtz, Hertz learned to watch for novel interactions between laboratory objects without worrying not so much about the hidden processes that account for the object’s effect-producing power. Thus the nature of electromagnetic waves appeared to Hertz as a kind of “thing in itself” that admits a variety of interpretations. Researcher chooses the version that is the simplest one to work with. The most important thing is the equations depicting the relations between the objects under investigation. “To the question, ‘What is Maxwell’s theory?’ I know of no shorter or more definite answer than the following : Maxwell’s theory is Maxwell’s system of equations” (Hertz).

And in the **Epilogue** “*Maxwell and Einstein*” it is shown that it was Albert Einstein who picked up the problem after Maxwell, Helmholtz, Hertz and Lorentz. In his 1905 paper “*Zur Elektrodynamik bewegter Korper*”(Einstein, 1905b) he had proposed a theory based on the “relativity principle” stating that all the laws of

nature should be the same in all the inertial frames of reference. It followed from this theory, as Richard Feynman has put it, that electricity and magnetism are not independent entities and should always be considered as a whole, as a single and complete electromagnetic field. Although in static case the Maxwell equations split into two parts: one for electricity and the other for magnetism without any visible connections between the fields, in nature there is a deep interconnection between the fields that follows from the relativity principle.

In particular, when we consider relative motion of a charged particle and a wire, we get one and the same result that does not depend on whether we consider the particle's movement in the wire's system at rest or in the reference frame of the particle itself. In the first case the force is purely "magnetic" and in the second – is purely "electric" one.

In his 1905 "*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*" Einstein demonstrated that electrical and magnetic forces are different parts of the same whole – the electromagnetic interaction. The separation of this interaction on the electric and the magnetic components is a conventional one and depends on the system of reference used for the interaction description. Hence "magnetism is a pure relativistic effect" (Feynman). For instance, in the plane electromagnetic wave that moves with a speed of light there is the constant pumping of the magnetic energy into the electric one and vice versa.

However the problem of electrical and magnetic fields' complementarity appeared to be connected with a deeper one – with the problem of the wave and corpuscular descriptions of the electromagnetic phenomena. Indeed the 1905b relativity paper begins with the description of "**deep asymmetry**" in the electromagnetic induction description. Experience tells us that the induction current caused in the conductor by the motion of the magnet depends only on the relative motion of the conductor and the magnet. However the Maxwell-Lorentz theory provides us with two qualitatively different descriptions of the effect that mystically lead to one and the same result. In the first case, an electric field with a certain energy density is responsible for the induced current. In the second case, there is no electric field, and the induction current is ascribed to an electromotive force with no corresponding field energy.

For understanding the true reasons of special relativity creation it is quite important to take into account that Albert Einstein was by no means the first to note asymmetries in theoretical representation of the induction phenomenon. In 1885 the asymmetry was described by Oliver Heaviside and independently by a telegraphic engineer Tolver Preston, in 1894 – by Herman Foppl, and in 1898 – by Wilhelm Wien himself. Hence the pertinent question is not how Einstein became aware of asymmetries, but what made them so intolerable to him.

Even at the second course of Eidgenössische Technische Hochschule he did believe in the existence of ether and intended to investigate the motion of the Earth through ether experimentally. One knows for sure that Einstein was working on a "capital memoir" on the electrodynamics of moving bodies at the end of 1901. Then he had stopped doing that and returned to his memoir only in 1905. What did

happen during the interval, and why had Einstein, being initially an adherent of the ether, became its strong enemy?

I think that the key answer to the questions posed lies in other works of Albert Einstein. It was Albert Einstein himself who had revealed other asymmetry - of more deep nature – in another 1905 paper “*Über eine die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffende heuristische Lesictpunkt*” (“*On an heuristical point of view concerning the processes of emission and transformation of light*”) that was published in the same journal “*Annalen der Physik*” but three months **before** the relativity paper (Einstein, 1905a). Although one often reads the statement that in 1905a paper Einstein was concerned with an explanation of the photoelectric effect, the study of the paper reveals that this was not the case. Einstein was worried not so much by the evidence dealing with photo effect and appealed to fluorescence, photo electricity and photoionization data only as to indirect evidence in favor of his thesis. Rather, Einstein was concerned mostly with contradiction between mechanics and electrodynamics. Einstein's sensitivity to the inconsistencies between mechanics and electrodynamics was due to the influence of Ernst Mach, whose writings supposedly freed Einstein from the mechanistic worldview. Einstein could therefore juxtapose mechanics, thermodynamics and electrodynamics without reducing one to the others.

Look at the beginning of his 1905a paper:

"There exist an *essential formal difference* between the theoretical pictures physicists have drawn of gases and other ponderable bodies and Maxwell's theory of electromagnetic processes in so-called empty space".

And in the first part of his 1905a Einstein discloses that the joint application of mechanical and electrodynamic "theoretical pictures" for description of black-body radiation leads not only to contradiction with experiment (his paper did not cite the results of Lummer & Pringsheim and Rubens & Curlbaum), but to *paradox* that cannot be eliminated by usual methods. To demonstrate it Einstein uses gedankenexperiment with both theories. He considers a cavity containing free electromagnetic field, gas molecules and Hertz's resonators. As a result one can conclude that joint application of mechanics and electrodynamics leads unavoidably to Raleigh-Jeans law for energy density of black-body radiation. But "this relation which we found as the condition for dynamic equilibrium does not only lack agreement with experiment, but it also shows that in our picture there can be no question of a definite distribution of energy between aether and matter", since "the greater we choose the range of frequencies of resonators, the greater becomes the radiation energy in space and in the limit we get  $\int_0^{\infty} \rho_v dv = (R/N) (3\pi/L^3) \int_0^{\infty} v^2 dv = \infty$ ."

Thus, Einstein pioneered in demonstrating how the cross-contradiction of mechanics and electrodynamics led to "ultra-violet catastrophe". The basic result of the 1905a paper consisted in that "if the monochromatic radiation (of sufficiently small density) in the sense of entropy dependence upon volume behaves itself as a discontinuous medium, consisting of energy quanta  $R\beta v/N$ , a

question occurs: if they are not the laws of creation and conversion of light such as if it consists of similar energy quanta?" (Einstein, 1905a, p.236).

Four years later (1909), in Salzburg Einstein made a report at the 81-st meeting of German Natural Scientists and Physicians under the heading "*On the Development of our Views on the Nature and Structure of Radiation*"; it represented the first effort to analyze his works as a whole. And it was one of the first public reports of the STR author dedicated to explanation of its foundations :

"[there are] numerous facts in the domain of radiation which show that light possesses a number of fundamental properties that can be understood with the help of Newton's emission theory considerably better than with the help of the wave theory. That is why I consider that the further phase of the development of physics will give us a theory of light which would be in some sense the *unification* of the wave theory with the theory of Newton"(Einstein, 1909, p.482).

So, they were the foundations of Lorentz's dualistic programme that were correctly described by the following Einstein's words:

"The successful systems of physics which have been evolved since rather represent compromises between these two schemes, which for that reason bear a provisional, logically incomplete character, although they may have achieved great advances in certain particulars. The first of these that calls for mention is Lorentz's theory of electrons, in which the field and the electrical corpuscles appear side by side as elements of equal value for the comprehension of reality"(Einstein [1931], 1968, p.246).

Thus, the dualism between the wave and corpuscular descriptions that was at the heart of Maxwell's theory received an adequate treatment only at the first half of the twentieth century.