

ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭПИСТЕМОЛОГИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

Р.М. Нугаев

Методологические проблемы синтеза научных теорий (в контексте максвелловского объединения оптики и электродинамики)

Нугаев Ринат Магдиевич – доктор философских наук, профессор. Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма. Российская Федерация, 420138, г. Казань, ул. Деревня Универсиады, д. 35; e-mail: rinatnugaev@mail.ru

Рассмотрены генезис и становление максвелловской электродинамики. Оспаривается тезис, согласно которому объединившая оптику, электричество и магнетизм максвелловская электродинамика явилась этапом развертывания фарадеевской научно-исследовательской программы, основанной на концепции близкодействия. Утверждается, что 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. Итогом взаимодействия встретившихся программ явилось создание целой иерархии гибридных объектов – от так называемого «тока смещения» до обычных гибридных теоретических схем. Только 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 концепции Фарадея и оптики Юнга и Френеля. Утверждается, что одним из краеугольных камней максвелловской стратегии объединения явились идеи кантовской эпистемологии, рассмотренные сквозь призму философии шотландского Просвещения, представленного в работах учителя Максвелла У. Гамильтона. Проанализированы современные (проведенные в начале XXI в.) историко-научные исследования максвелловского синтеза оптики и теории электромагнетизма с целью определить, что нового они дают для ответа на следующие философские вопросы: 1) действительно ли природа настолько проста, чтобы допускать создание объединяющих разные явления теорий? 2) чем отличается действительный синтез нескольких теорий от их простой конъюнкции? 3) почему синтез теорий является эпистемологическим достоинством, а не недостатком?

Ключевые слова: Дж. Максвелл, синтез оптики и электромагнетизма, И. Кант, У. Гамильтон

Вплоть до сравнительно недавнего времени было принято считать, что объединившая оптику, электричество и магнетизм максвелловская электродинамика явилась этапом развертывания фарадеевской научно-исследовательской

программы, основанной на концепции близкодействия. Последняя, обеспечив и предсказание, и опытное подтверждение существования радиоволн, наконец-то победила весьма успешно конкурировавшую с ней – на первых порах – исследовательскую программу Ампера–Вебера, основанную на альтернативной близкодействию концепции дальнодействия. Однако более пристальный взгляд на историю и методологию физики второй половины XIX в., ставший возможным благодаря ряду современных исследований¹, позволяет поставить эту точку зрения под сомнение как слишком большое *упрощение*.

Во-первых, сам создатель максвелловской электродинамики неоднократно – с самой первой работы и до конца своих дней – подчеркивал, что ключевые идеи электродинамики Ампера–Вебера не столько альтернативны, сколько *дополнительны* по отношению к концепции полевого взаимодействия. Еще в начале своих исследований в области электродинамики, в мае 1855 г., аспирант Кембриджского университета, прилежный студент профессора математики Габриэля Стокса и ректора Тринити-колледжа философа науки кантианца Уильяма Уэвелла, постоянный корреспондент Уильяма Томсона 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 теории².

Позже, описывая процесс создания своей системы уравнений, Максвелл отмечает:

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* (курсив мой. – Р.Н.)³.

Во-вторых, основное экспериментальное подтверждение максвелловской электродинамики было получено не сотрудниками созданной самим Максвеллом, долгое время возглавляемой им и прекрасно оборудованной кавендишской лаборатории, не британскими учениками и последователями Максвелла, а учеником Германа Гельмгольца немецким физиком Генрихом Герцем (1888), который сторонником теории Максвелла себя не считал⁴.

В-третьих, влияние идей Фарадея и на юного, и, особенно, на зрелого Максвелла сильно преувеличено, причем не в последнюю очередь самим создателем электромагнитной теории света (возможно, исходя из самых лучших – патриотических – побуждений). Вне всякого сомнения, влияние фарадеевских «Экспериментальных исследований» (1839–1855), опытов не

¹ Siegel D.M. Innovation in Maxwell's electromagnetic theory: molecular vortices, displacement current, and light. Cambridge, 1991; Morrison M. Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures. Cambridge, 2000; Darrigol O. Electrodynamics from Ampere to Einstein. Oxford, 2002; Nugayev R.M. Communicative Rationality of the Maxwellian Revolution // Foundations of Science. 2015. Vol. 20. No. 4. P. 447–478.

² Цит. по: Campbell L., Garnett W. The Life of James Clerk Maxwell. L., 1882. P. 105.

³ Maxwell J. Treatise on Electricity and Magnetism. L., 1998. P. 599.

⁴ Darrigol O. Op. cit.

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 стоят за их интерпретацией. Для Майкла Фарадея, самоучки, не имевшего не только высшего, но и полноценного среднего образования, сына деревенского кузнеца, зятя старосты «фундаменталистской» сандаманианской христианской общины, находившейся в весьма непростых отношениях с официальной англиканской церковью, который впоследствии сам эту общину и возглавил, была характерна твердая вера в целесообразность, необходимость и разумность устройства мира Творцом. Отвечая в 1844 г. на вопросы о своих религиозных взглядах, Фарадей отмечал:

Я принадлежу к очень маленькой и презираемой (*despised*) секте христиан, известной, если вообще известной кому-нибудь, как сандаманиане. И только в Христе вся наша надежда⁵.

В 1846 г., выступая в своем Королевском Институте (*Royal Institution*) по вопросам электричества и магнетизма, Фарадей подчеркивал:

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 отдал; 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* (курсив мой. – Р.Н.)⁶.

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, который он впитал на лекциях сэра Уильяма Гамильтона по философии сознания, читавшихся (при полных аудиториях) в Эдинбургском университете. Эти лекции, «интересовавшие 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»⁷.

Именно сэр Гамильтон с его релятивизмом и глубокими сомнениями в возможностях познания сущностей вещей привил Максвеллу вкус к основам кантовской 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»⁸. Уже после Эдинбурга, приступая к занятиям в Кембридже и радостно

⁵ Цит. по: *Jones B. Faraday's Life and Letters. Vol. 1, 2. Philadelphia, 1870. P. 192.*

⁶ *Ibid. P. 229.*

⁷ *Campbell L., Garnett W. Op. cit. P. 64.*

⁸ *Ibid. P. 65.*

воображая «обычное изобилие планов на будущее», под пунктом 4 (метафизика) Максвелл намечает «прочтение кантовской “Критики чистого разума” на немецком с целью согласования ее с сэром У. Гамильтоном»⁹.

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

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 расставил¹⁰.

В том же письме Максвелл отмечает, что «у Конта имеются хорошие идеи о научном методе, но никакого понятия о человеке»¹¹. Наконец, в своем центральном философском произведении эссе «Существуют ли реальные аналогии в Природе?» (1856) Максвелл занимает по основополагающим вопросам подчеркнута 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 сменны впечатлений, что разницы в положении, так же как в порядке появления, существуют среди самих причин этих ощущений¹².

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 отпечаток¹³.

И, будучи «сыном своего времени», Максвелл никогда на протяжении длительного периода не принадлежал к какой-то церкви; он признавался: «Моя вера слишком глубока для того, чтобы находиться в оковах какого-либо одного множества мнений».

Объяснение принятия полевой концепции симпатией к близкодействию, как отмечает один из отечественных знатоков творчества Максвелла, *на первый взгляд* представляется весьма естественным и правдоподобным¹⁴. Но, к сожалению, 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.

⁹ Campbell L., Garnett W. Op. cit. P. 74.

¹⁰ Ibid. P. 108.

¹¹ Ibid.

¹² Ibid. P. 121.

¹³ Ibid. P. 465.

¹⁴ Shapiro I. On the History of the Discovery of the Maxwell equations // Soviet Physics Uspekhi. 1973. Vol. 15. No. 5. P. 651–659.

после введения тока смещения. До этого поле использовалось им с «откровенно иллюстративной» (И. Шапиро) целью – для построения наглядных образов весьма и весьма сложных векторных дифференциальных уравнений. Например, в одной и той же работе «О фарадеевых силовых линиях» для разъяснения разных аналитических соотношений Максвелл использует значительно отличающиеся друг от друга модели:

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...¹⁵.

Переход к дифференциальным уравнениям в частных производных, составивший содержание этой статьи, отнюдь не заключался в переходе к физическому близкодействию. Например, уравнение Пуассона для потенциала тяготения, известное и Максвеллу, и его современникам, никто и не собирался интерпретировать в духе полевой концепции. Как полагал сам Максвелл, тяготение и 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 электричеством¹⁶.

Еще одно расхождение: специфические черты фарадеевского понятия поля состоят в том, что, во-первых, сила – это субстанция, причем субстанция единственная, и, во-вторых, все силы способны к 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.

В итоге перечисленных выше исследований было показано, что генезис максвелловской электродинамики может рассматриваться как закономерный результат *согласования* «старых», относившихся к домаксвелловской физике исследовательских программ – электродинамики Ампера–Вебера, волновой теории света Юнга–Френеля и программы Фарадея. Итогом взаимодействия встретившихся программ явилось создание целой иерархии гибридных объектов – от так называемого «тока смещения» до обычных гибридных теоретических схем. Только 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.

¹⁵ Цит. по: *Shapiro I.* Op. cit. P. 652.

¹⁶ *Ibid.*

Но тогда что же нового дают проведенные в начале XXI в. исследования для ответа на следующие, особо значимые для «унификационистов»¹⁷ (unificationists), вопросы:

А. Действительно ли природа по сути своей настолько проста, чтобы допустить создание объединяющих различные процессы теорий?

Б. Чем отличается *действительное* объединение нескольких теорий от простой их конъюнкции?

В. Почему объединение теорий является эпистемологическим *достоинством*, а не недостатком?

Здравый смысл склоняет к выводу, что если мы не верим в существование Высшего Разума, создавшего на основе ясных, простых и единых законов все сущее, включающее не только природные объекты, но и нас самих, то не имеем и достаточных оснований утверждать, что такие законы, описывающие глубинные и всеобщие свойства окружающих объектов, действительно существуют. Тем не менее из этого еще не следует, что мы должны встать на точку зрения «антиунификационистов» и отрицать как существование универсальных принципов объединения, так и значимость самого методологического регулятива, с этим процессом связанного¹⁸. 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. Другими словами, несмотря на то, что мы не можем требовать от наших теорий неукоснительного приближения к некоему идеалу всеохватывающей единой теории, мы все-таки вправе ожидать *роста согласованности различных теорий между собой* в процессе увеличения эмпирического содержания нашего знания. В этом, с нашей точки зрения¹⁹, и заключается подлинный смысл когерентной концепции научной истины, согласующийся с так называемым «внутренним реализмом». Тогда вполне разумное утверждение о существовании научного прогресса должно состоять в требовании роста *объективности* встречающихся научных теорий, как это подробно описано самим Джеймсом Максвеллом в другом философском шедевре – статье «Гельмгольц»²⁰. 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 птолемеевской паутины с неба»²¹. Эти «цементы» отража-

¹⁷ Kitcher P. Explanatory Unification // Philosophy of Science. 1981. Vol. 48. No. 6. P. 507–531; Glymour C. Explanations, Tests, Unity and Necessity // Nous. 1980. Vol. 14. No. 18. P. 31–50; Friedman M. Foundations of Space-Time Theories. Princeton, 1983; Wayne A. Critical Notice // Canadian Journal of Philosophy. 2002. Vol. 32. No. 1. P. 117–138; Watkins J. Science and Scepticism. Princeton, 1984.

¹⁸ Maxwell N. Unification and Revolution: A Paradigm for Paradigms // Journal for General Philosophy of Science. 2014. Vol. 45. No. 1. P. 133–149; Mamchur E.A. Contradictions, Synthesis and the Growth of Knowledge // International Studies in the Philosophy of Science. 2010. Vol. 24. No. 4. P. 429–435.

¹⁹ Nugayev R.M. Reconstruction of Mature Theory Change: A Theory-change Model. Frankfurt a/M., 1999.

²⁰ Maxwell J.C. Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz. Reprinted // The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Vol. 2. Cambridge, 1890. P. 592.

²¹ Maxwell J.C. Ether. Reprinted // The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. 1890. Vol. 2. P. 763–775.

ют 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 «спутываются», взаимопереплетаются и проникают друг в друга, а объективность научного знания в целом – растет.

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

В силу того, что дать единое, непротиворечивое и приемлемое для всех описание синтеза теорий чрезвычайно сложно (а может быть, вообще невозможно), выход, подсказанный исследованиями Макса Вебера, представляется весьма разумным²². 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 эпистемологической 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 «внутренних» факторов, или сочетания тех и других.

В чем же состоят основные особенности максвелловского синтеза, которые могут представлять интерес и для других случаев объединения? Перечислим их.

1. Максвелловская революция является гораздо более сложным явлением, чем это может показаться с точки зрения ряда таких известных концепций научных революций, как концепции Т. Куна и И. Лакатоса.

Взятое само по себе, это суждение тривиально: любое социальное явление, как отмечал, например, Пол Фейерабенд, ссылаясь на В.И. Ленина, всегда сложнее теоретических представлений о нем. Но один из основных недостатков упомянутых концепций – отсутствие описания процесса *взаимодействия* «парадигм», «научно-исследовательских программ», «исследовательских тра-

²² Weber M. Weber's Rationalism and Modern Society / Translated by T. Waters, D. Waters. L., 2015.

дий» и т. д.²³. 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 – показать, что оно *должно* было произойти.

II. *Основная цель, которую ставил перед собой Максвелл в период создания своей теории, сводилась к поискам единого способа описания и объяснения различных аспектов электричества и магнетизма*²⁴.

При построении своей синтетической теории Максвелл преимущественно не обращался к экспериментальным данным, а использовал в качестве эмпирического материала теоретические знания предшествующего уровня²⁵: 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). В итоге 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 предложенной В.С. Степиным версии методологии научно-исследовательских программ²⁶, позволяя не столько подтвердить последнюю, сколько уточнить особенности построения теорий в рамках так называемых *синтетических глобальных программ*. 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, кантианский, антинатурфилософский, *эпистемологический* характер. Для Максвелла «первокирпичиком» физической реальности был отнюдь не эфир, из которого надо было тщательно конструировать как поля, так и заряды, не «поле» и, тем более, не непосредственное «действие на расстоянии». И «действие на расстоянии», и «несжимаемая жидкость», и «вихри в эфире», и «поля» для него были лишь *модельными* представлениями, в лучшем случае способными только «навести» (*inductio*) на правильные математические соотношения.

С репрезентационистской точки зрения (точки зрения теории отражения) все эти гидродинамические модели электромагнитных феноменов были лишь жалкими и заранее обреченными на неудачу попытками описать неопишемое – «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.

²³ *Nugayev R.M.* Reconstruction of Mature Theory Change: A Theory-change Model.

²⁴ *Maxwell J.C.* On Faraday's Lines of Force. Reprinted // The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Vol. 1. Cambridge, 1890. P. 155.

²⁵ *Stepin V.S.* Theoretical Knowledge. Dordrecht, 2005.

²⁶ *Ibid.* P. 744.

III. Развитая 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 схемы²⁷. Но в основе твердого ядра максвелловской программы, направлявшего теоретический поиск, лежали не механическая или электромагнитная картины мира, а учение об *аналогиях*, представлявшее собой *кантовскую эпистемологию*, рассмотренную через призму шотландского реализма.

Именно это обстоятельство позволило Максвеллу взглянуть на проблему синтеза оптики, электричества и магнетизма под принципиально новым углом и искать не онтологическую, субстанциональную основу электромагнитных взаимодействий, а *математические выражения*, описывающие 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, единой субстанциональной основе. Уравнения Максвелла ничего не говорят об этой основе, а лишь описывают взаимоотношения полей*: если существует изменяющееся электрическое поле, существует и изменяющееся магнитное поле, и наоборот.

Максвелл действительно объединил бы электричество и магнетизм, если бы:

(1) продемонстрировал, что и та, и другая силы качественно объясняются напряжениями и натяжениями одной и той же среды – эфира;

(2) вывел аналитическое выражение, связывающее, скажем, массу и заряд электрона, или константы ϵ и μ , как он это сделал для случая объединения оптики и электромагнетизма, когда он теоретически рассчитал скорость света через эти константы.

Данное обстоятельство *принципиально* отличает максвелловскую методология и от томсоновской, и от фарадеевской, и от эрстедовской, и от амперовской, авторы которых слишком серьезно относились к онтологиям развиваемых ими программ. Максвелл не устал повторять, что и трубки с несжимаемой жидкостью, и молекулярные вихри – это игрушки, всего лишь модели, которые в лучшем случае схватывают лишь отдельные моменты изучаемых явлений. «Действие на расстоянии», «несжимаемая жидкость», «молекулярные вихри» – это все были для Максвелла «надуманные аналогии» (“*contrived analogies*”²⁸), способные только на то, чтобы направить внимание исследователя на поиск «правильных» математических соотношений. Как писал сам Максвелл, «моя цель состоит в презентации воплощений математических идей»²⁹.

IV. Генезис максвелловской электродинамики был умело встроен ее создателем в общий процесс *деонтологизации* физики, начавшийся в Новое время с отказа от аристотелевской онтологии с ее наглядностью и близостью к повседневному опыту.

Аристотелевская физика не являлась физикой математической: в этом была ее слабость, но в этом была и ее сила³⁰. В итоге решающую роль в процессе создания науки Нового времени сыграл не опыт, а *экспериментирование*.

²⁷ *Stepin V.S. Theoretical Knowledge. P. 744.*

²⁸ *Hon G., Goldstein B. Maxwell's contrived analogy: An early version of the methodology of modeling // Studies in History and Philosophy of Modern Physics. 2012. Vol. 43. No. 3. P. 236–257.*

²⁹ *Maxwell J.C. On Faraday's Lines of Force. Reprinted // The Scientific Papers of James Clerk Maxwell. Vol. 1. Cambridge, 1890. P. 187.*

³⁰ *Koyre A. From the Closed World to the Infinite Universe. Baltimore, 1957.*

Последнее же состоит в методичном и последовательном «задавании вопросов Природе»; это вопрошание предполагает и включает в себя некоторый язык, на котором формулируются вопросы, а также словарь, позволяющий нам читать и понимать ответы. Известно, что, согласно Галилею, «языком, на котором мы должны обращаться к природе и получать от нее ответы, являются кривые, круги и треугольники – математический или, точнее, геометрический язык»³¹.

Сама возможность применения математических методов в естествознании основана на операции идеализации. Соответственно, ученые считают, что все явления природы – это бóльшие или меньшие приближения к идеальным сущностям. Последние сами по себе не существуют, но могут быть открыты при помощи абстрактного мышления. Именно эти идеальные сущности и описываются всеми точными «законами природы». Что же касается реальных природных предметов и процессов, то отношения между ними лишь приблизительно соответствуют точным научным законам³².

Что касается познания сущностей, методологическая максима была сформулирована Галилеем как «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 науки Нового времени, четко зафиксированному Кантом, сама «являемость вещей в опыте» заключает 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 Исааком 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 разнообразные тела притягиваются друг к другу. После этого важнейшим этапом стали работы самого Максвелла, принципиально отказавшегося от выяснения природы электричества и магнетизма и рассматривавшего эфир лишь как элемент модельных представлений, способствующих классификации и аккумулярованию соответствующих «фактов».

Но оставалась еще одна «онтологическая» функция эфира – быть вместилищем абсолютной системы отсчета. От этой функции освободил физику уже Альберт Эйнштейн, продемонстрировавший, что именно эфир препятствует единому рассмотрению электричества и магнетизма и выявлению их симметрии. Таким образом, Эйнштейн сделал следующий после Ньютона шаг (в 1905 г.) в направлении отказа от рассуждений о природе пространства и времени. Но в 1915 г. он пошел еще дальше и свел природу гравитационного поля к искривлению пространства-времени, когда компоненты напряженности гравитационного поля стали выражаться через геометрические величины.

³¹ Husserl E. The Crisis of European Sciences and Transcendental Philosophy / Transl. by D. Carr. Evanston, 1970.

³² Kline M. Mathematics and the Search for Knowledge. Oxford, 1986.

Начатый еще Галилеем процесс «деонтологизации» состоял в том, что в науке Нового времени место аристотелевских «сущностей» постепенно занимают математические абстрактные объекты, представляющие, по меткому выражению Мераба Мамардашвили, «вывернутые наизнанку» сущности процессов природы. Это особенно наглядно представлено в «Математических началах натуральной философии» Ньютона, когда последний указывает во введении, что

...так как древние, по словам Паппуса, придавали большое значение механике при изучении природы, то новейшие авторы, *отбросив субстанции и скрытые свойства, стараются подчинить явления природы законам математики*. В этом сочинении имеется в виду тщательное развитие приложений математики к физике... поэтому и сочинение это нами предлагается как *математические основания физики* (курсив И. Ньютона. – Р.Н.)³³.

Для характеристики специфики методологии Ньютона требование «подчинить явления природы законам математики» представляется основным: надо так по-галилеевски «изнасиловать» свои чувства, возникающие при созерцании природных явлений, так препарировать их, представить их в таком высушенном и расчлененном виде, чтобы результаты их деятельности допускали аналитическую обработку. Это прежде всего относится к основным понятиям базисной идеальной модели классической механики – понятиям «инерциальной системы отсчета», «материальной точки», «пространства» и «времени», которые приобретают характер математических *идеализаций*. Максвелловские «сущности» электромагнитных явлений – это абстрактные объекты четырех «уравнений Максвелла»: $\text{div}E$, $\text{rot}E$, $\text{div}H$, $\text{rot}H$, j . У Эйнштейна в специальной теории относительности «сущность» пространства и времени – 4-вектор в пространстве Минковского. В общей теории относительности это – метрический тензор g_{ij} , связанный с тензорами Римана R_{ij} и тензором энергии-импульса T_{ij} в уравнениях Эйнштейна. В квантовой механике «сущность» микропроцессов – волновая функция Ψ или вектор в гильбертовом пространстве, а в теории Виттена – суперструна в 11-мерном пространстве-времени.

V. 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 условность использования этого языка для описания электромагнитных явлений. Максвелл сознательно имел дело всего лишь с вихревой *моделью* электромагнитных процессов; какие-то стороны электромагнетизма эта «игрушка» описывает, а какие-то – нет.

VI. Именно использование нейтрального языка позволило Максвеллу 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, поскольку было получено при помощи целого ряда идеализирующих (и иногда сомнительных) допущений³⁴.

³³ *Newton I. The Mathematical Principles of Natural Philosophy / Transl. into English by A. Motte, with preface of mr. R. Cotes. N. Y., 1846. P. 1–3.*

³⁴ *Siegel D.M. Op. cit.*

VII. 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 утверждения о существовании радиоволн, как и других (несветовых) видов электромагнитного излучения.

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.

VIII. Максвелл фактически применял синтетический (но не редукционистский) способ объединения встретившихся теорий.

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».

IX. Опыт максвелловского синтеза позволяет заключить, что случай онтологической редукции вообще не реализуем для теорий такой степени общности, как максвелловская электродинамика.

Мы не можем заключить, что Максвелл свел всю оптику к электромагнетизму, равно как и заключить, что он свел весь электромагнетизм к оптике. Он лишь *положил начало процессу взаимопроникновения* и взаимоприспособления 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 осуществить такой вывод, но не получилось. Мы знаем, что в 1861 г. Максвелл был вынужден «руками» 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 лагранжиана, но перед этим получил выражение для тока смещения из механической модели и затем «руками» ввел его в лагранжиан.

X. 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 явлениями³⁵.

В структуре объединяющей теории есть нечто особенное, отличающее ее от псевдо-объединяющих теорий. В максвелловском случае этим «нечто», по мысли Моррисон, является ток смещения. С данным выводом Моррисон я полностью согласен. Именно такую роль играют в нашей модели смены гибридные объекты, сконструированные из нескольких встретившихся базисных теоретических объектов³⁶.

³⁵ Morrison M. Op. cit. P. 23.

³⁶ Nugayev R.M. Reconstruction of Mature Theory Change: A Theory-change Model.

Идея тока смещения, завершившая формирование максвелловской теории, была введена вовсе не на путях конструирования математической гипотезы. Ток смещения – типичный гибридный объект, введенный в результате встречи оптики и теории электромагнетизма. Как пронизательно отмечал в 1891 г. 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 моей точки зрения, для максвелловской электродинамики подобным каркасом стал ток смещения, установивший такие связи между встретившимися теориями, что любое продвижение в рамках одной из них неминуемо вело к изменению содержания другой. Обобщая, можно сказать, что 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.

Список литературы / References

- Darrigol, O. *Electrodynamics from Ampere to Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 2002. 515 pp.
- Campbell L., Garnett, W. *The Life of James Clerk Maxwell*. London: Macmillan, 1882. 342 pp.
- Jones, B. *Faraday's Life and Letters*. Vol. 1, 2. Philadelphia, J.D.: Lippincott, 1870. 380 pp.
- Friedman, M. *Foundations of Space-Time Theories*. Princeton: Princeton University Press, 1983. 385 pp.
- Glymour, C. "Explanations, Tests, Unity and Necessity", *Nous*, 1980, vol. 14, no. 18, pp. 31–50.
- Hon, G., Goldstein, B. "Maxwell's contrived analogy: An early version of the methodology of modeling", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 2012, vol. 43, no. 3, pp. 236–257.
- Husserl, E. *The Crisis of European Sciences and Transcendental Philosophy*, translated by D. Carr. Evanston: Northwestern University Press, 1970. 384 pp.
- Kitcher, P. "Explanatory Unification", *Philosophy of Science*, 1981, vol. 48, no. 6, pp. 507–531.
- Kline, M. *Mathematics and the Search for Knowledge*. Oxford: Oxford University Press, 1986. 640 pp.
- Koyre, A. *From the Closed World to the Infinite Universe*. Baltimore: John Hopkins Press, 1957. 313 pp.
- Mamchur, E.A. "Contradictions, Synthesis and the Growth of Knowledge", *International Studies in the Philosophy of Science*, 2010, vol. 24, no. 4, pp. 429–435.
- Morrison, M. *Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 270 pp.
- Maxwell, J.C. "On Faraday's Lines of Force", reprinted, in: *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 1890, vol. 1, pp. 155–229.
- Maxwell, J.C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*. London: Clarendon Press, 1998. 691 pp.
- Maxwell, J.C. "Hermann Ludwig Ferdinand Helmholtz", reprinted, in: *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 1890, vol. 2, pp. 592–598.
- Maxwell, J.C. "Ether", reprinted, in: *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 1890, vol. 2, pp. 763–775.

Maxwell, N. "Unification and Revolution: A Paradigm for Paradigms", *Journal for General Philosophy of Science*, 2014, vol. 45, no. 1, pp. 133–149.

Newton, I. *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, translated into English by A. Motte, with preface of mr. R. Cotes. New York: Daniel Ades, 1846. 360 pp.

Nugayev, R.M. *Reconstruction of Mature Theory Change: A Theory-change Model*. Frankfurt am Main: Peter Lang, 1999. 199 pp.

Nugayev, R.M. "Communicative Rationality of the Maxwellian Revolution", *Foundations of Science*, 2015, vol. 20, no. 4, pp. 447–478.

Shapiro, I. "On the History of the Discovery of the Maxwell equations", *Soviet Physics Uspekhi*, 1973, vol. 15, no. 5, pp. 651–659.

Siegel, D.M. *Innovation in Maxwell's electromagnetic theory: molecular vortices, displacement current, and light*. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 229 pp.

Stepin, V.S. *Theoretical Knowledge*. Dordrecht: Synthese-Library, Springer, 2005. 799 pp.

Watkins, J. *Science and Scepticism*. Princeton: Princeton University Press, 1984. 406 pp.

Wayne, A. "Critical Notice", *Canadian Journal of Philosophy*, 2002, vol. 32, no. 1, pp. 117–138.

Waters T. & Waters, D. (eds.) *Weber's Rationalism and Modern Society*. London: Palgrave Macmillan, 2015. 240 pp.

The methodological problems of theory unification (In the context of Maxwell's fusion of optics and electrodynamics)

Rinat Nugayev

DSc in Philosophy, professor. Department of social science and humanities. Volga Region State Academy of Physical Culture, Sport & Tourism. 33 Universiade Village, Kazan, Republic of Tatarstan, 420138, Russian Federation; e-mail: rinatnugaev@mail.ru

It is discerned what light can the recent historical reconstructions of maxwellian optics and electromagnetism unification on the following philosophical/methodological questions bring: 1) why should one believe that Nature is ultimately simple and that unified theories are more likely to be true? 2) what does it mean to say that a theory is unified? 3) why theory unification should be an epistemic virtue? To answer the questions posed genesis and development of Maxwellian electrodynamics are elucidated. It is enunciated that the Maxwellian Revolution is a far more complicated phenomenon than it may be seen in the light of Kuhnian and Lakatosian epistemological models. Correspondingly it is maintained that maxwellian electrodynamics was elaborated in the course of the old pre-maxwellian programmes' reconciliation: the electrodynamics of Ampère–Weber, the wave theory of Young–Fresnel and Faraday's programme. To compare the different theoretical schemes springing from the different language games James Maxwell had constructed a peculiar neutral language. Initially it had encompassed the incompressible fluid models; eventually – the vortices ones. The three programmes' encounter engendered the construction of the hybrid theory at first with an irregular set of theoretical schemes. However, step by step, on revealing and gradual eliminating the contradictions between the programmes involved, the hybrid set is "put into order" (Maxwell's term). A hierarchy of theoretical schemes starting from ingenious crossbreeds (the displacement current) and up to usual hybrids is set up. After the displacement current construction the interpenetration of the pre-maxwellian programmes begins that marks the commencement of theoretical schemes of optics, electricity and magnetism real unification. Maxwell's programme surpassed that of Ampère–Weber because

it did absorb the ideas of the Ampère-Weber programme, as well as the presuppositions of the programmes of Young-Fresnel and Faraday properly co-ordinating them with each other. But the opposite statement is not true. The Ampère-Weber programme did not assimilate the propositions of the Maxwellian programme. Maxwell's victory over his rivals became possible because the gist of Maxwell's unification strategy was formed by Kantian epistemology looked in the light of William Whewell and such representatives of Scottish Enlightenment as Thomas Reid and Sir William Hamilton. Maxwell did put forward as basic synthetic principles the ideas that radically differed from that of Ampère-Weber approach by their open, flexible and contra-ontological, genuinely epistemological, Kantian character. For Maxwell, ether was not the ultimate building block of physical reality, from which all the charges and fields should be constructed. "Action at a distance", "incompressible fluid", "molecular vortices", etc. were contrived analogies for Maxwell, capable only to direct the researcher at the "right" mathematical relations.

Keywords: J.C. Maxwell, unification of optics and electromagnetism, I. Kant, T. Reid, W. Hamilton