Министерство образования РФ

Уральский государственный технический университет

Нижнетагильский институт

Кафедра "Автоматизация технологических процессов и систем"

**Реферат**

**по дисциплине "История электротехники"**

**на тему: "Вклад Максвелла  
в электротехнику"**

**Выполнила:**

студентка гр. 144 Л.В. Глушкова

**Проверил:** В.Л. Тимофеев

Н-Тагил

1999

# Содержание

Содержание 2

Введение 3

Динамическая теория электромагнитного поля 6

Общие уравнения электромагнитного поля 12

Электромагнитные волны 14

Электромагнитная теория света 15

Библиографический список 18

# Введение

Джеймс Клерк Максвелл родился 13 июня 1831г. в Эдинбурге, в семье юриста - обладателя поместья в Шотландии. В мальчике рано проявились любовь к технике и стремление постичь окружающий мир. Большое влияние на него оказал отец - высокообразованный человек, глубоко интересовавшийся проблемами естествознания и техники. В школе Максвелла увлекала геометрия, и первой его научной работой, выполненной в пятнадцать лет, было открытие простого, но не известного способа вычерчивания овальных фигур. Максвелл получил хорошее образование сначала в Эдинбургском, а затем в Кембриджском университетах.



В 1856 г. молодого, подающего надежды ученого приглашают на преподавательскую работу в качестве профессора колледжа шотландского города Абердина. Здесь Максвелл увлеченно работает над проблемами теоретической и прикладной механики, оптики, физиологии цветового зрения. Он блестяще решает загадку колец Сатурна, математически доказав, что они образованы из отдельных частиц. Имя ученого становится известным, и его приглашают занять кафедру в Королевском колледже в Лондоне. Лондонский период (1860-1865) был самым плодотворным в жизни ученого. Он возобновляет и доводит до завершения теоретические исследования по электродинамике, публикует фундаментальные работы по кинетической теории газов.

В 1871 г. Кембридский университет предлагает своему бывшему студенту возглавить вновь образованную кафедру экспериментальной физики с условием создания при ней научно-исследовательской лаборатории. До конца жизни (Максвелл скончался 5 ноября 1879 г.) всю свою энергию ученый отдает строительству и организации физической лаборатории, названной в честь Г. Кавендиша и ставшей впоследствии одной из самых знаменитых физических лабораторий мира.

Еще в студенческие годы Максвелл знакомится с «Экспериментальными исследованиями по электричеству» Фарадея, и этот труд захватывает его. Позднее он вспоминал: «Прежде чем начать изучение электричества, я принял решение не читать никаких математических работ по этому предмету до тщательного прочтения фарадеевских «Экспериментальных исследований по электричеству». Я был осведомлен, что высказывалось мнение о различии между фарадеевским методом понимания явлений и методами математиков, так что ни Фарадей, ни математики не было удовлетворены языком друг друга». Таким образом, Максвелл решил с самого начала не поддаваться гипнозу метематически совершенных работ А.-М. Ампера, Ф. Неймана и других представителей концепции дальнодействия электромагнитных сил. Он первым осознал глубину рассуждений Фарадея и интуитивно почувствовал в его идее о силовых линиях решение Проблем электродинамики. Почти всю свою творческую жизнь Максвелл планомерно, шаг за шагом, развивал идею о поле. На первом этапе исследований он убеждается в том, что теория дальнодействия не способна последовательно и непротиворечиво объяснить электромагнитные явления. Следуя Фарадею, Максвелл разрабатывает гидродинамическую модель силовых линий. Ши­роко пользуясь механическими аналогиями, он выражает извест­ные соотношения электродинамики на математическом языке, соответствующем механическим моделям Фарадея. Этот матема­тический аппарат он заимствует из работ ирландского матема­тика У. Р. Гамильтона. Основные результаты этого этапа иссле­дований отражены в первой большой работе Максвелла «О фарадеевских линиях сил», которая была написана в 1855 г., а опубликована позднее.

В дальнейшем на смену гидродинамическим приходят модели-аналоги теории упругости. Работая с такими понятиями, как натяжение, деформация, давление, вихри, Максвелл непостижи­мым для нас образом приходит к уравнениям поля, еще не при­веденным на данном этапе в единую систему. Рассматривая электрические явления в диэлектриках, он выдвигает гипотезу о токах смещения. В общем виде высказывается мысль о связи света с электротоническим состоянием (первоначально Максвелл пользуется этим термином Фарадея для обозначения поля). Этот этап работы отражен в труде «О физических линиях сил», кото­рый печатался по частям в течение 1861—1862 гг.

Заключительный этап электродинамических исследований Максвелла характеризуется синтезом электромагнетизма и опти­ки. Ученый приходит к ясному определению электромагнитного поля как вида материи, выражая все его проявления с помощью систем из двадцати уравнений. (Впоследствии О. Хевисайд и Г. Герц приведут систему уравнений Максвелла к более просто­му виду, принятому в наши дни.) На основании своей теории Максвелл решает и конкретные задачи: определяет показатель преломления тел (n =), рассчитывает коэффициенты само­индукции катушки и взаимной индукции двух круговых токов. Самому Максвеллу казалось, что он создал механику эфира — всепроникающей среды, которую можно принять за абсолютно неподвижную систему отсчета. Он, таким образом, стимулировал попытки ученых уловить «неподвижный эфир», предложив свою собственную идею опыта по его обнаружению. Опыт был осу­ществлен в 1887 г. А. Майкельсоном и Э. Морли и, как известно, дал отрицательный результат. Выход был найден А. Эйнштейном в специальной теории относительности, которая оказалась в пол­ном соответствии с электродинамикой Максвелла. Ученый, исхо­дя из уравнений поля, предсказал существование поперечных электромагнитных волн, распространяющихся по скоростью све­та. Этот завершающий этап был отражен в работе «Динами­ческая теория электромагнитного поля», изданной в 1864 г. Итог работы Максвелла по электродинамике подвел его знаменитый «Трактат об электричестве и магнетизме» (1873).

При жизни Максвелла его теория не получила всеобщего признания: она считалась непонятной, математически нестрогой логически необоснованной. Лишь после работ Г. Герца, доказавшего существование электромагнитных волн, и опытов П. Н. Ле­бедева, в которых было измерено давление света, предсказанное Максвеллом, его теория завоевала признание среди ученых.

# Динамическая теория электромагнитного поля

Электромагнитное поле — это та часть пространства, кото­рая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электриче­ском или магнитном состоянии.

Это пространство может быть наполнено любым родом мате­рии, или мы можем попытаться удалить из нее всю плотную ма­терию, как в трубках Гейсслера или в других, так называемых вакуумных трубках. Однако всегда имеется достаточное количе­ство материи для того, чтобы воспринимать и передавать волно­вые движения света и тепла. И так как передача излучений не слишком сильно изменяется, если так называемый вакуум заме­нить прозрачными телами с заметной плотностью, то допускается, что эти волновые движения относятся к эфирной субстанции, а не к плотной материи, присутствие которой только в какой-то мере изменяет движение эфира.

Поэтому имеется некоторое основание предполагать, исходя из явлений света и тепла, что имеется какая-то эфирная среда, заполняющая пространство и пронизывающая все тела, которая обладает способностью приводиться в движение, передавать это движение от одной своей части к другой и сообщать это движе­ние плотной материи, нагревая ее и воздействуя на нее разнооб­разными способами.

Энергия, сообщенная телу нагреванием, должна была ра­нее существовать в движущейся среде, ибо волновые движения оставили источник тепла за некоторое время до того, как они достигли самого нагреваемого тела, и в течение этого времени энергия должна была существовать наполовину в форме движе­ния среды и наполовину в форме упругого напряжения. Исходя из этих соображений, профессор В. Томсон доказал, что эта сре­да должна обладать плотностью, сравнимой с плотностью обыч­ной материи, и даже определил нижнюю границу этой плотности.

Поэтому мы можем как данное, выведенное из отрасли науки, независимой от той, с которой мы (в рассматриваемом случае) имеем дело, принять существование проникающей среды, обладающей малой, но реальной плотностью и способностью приводиться в движение и передавать движения от одной части к другой с большой, но не бесконечной скоростью.

Следовательно, части этой среды должны быть так связаны, что движение одной части каким-то способом зависит от движе­ния остальных частей, и в то же время эти связи должны быть способны к определенному роду упругого смещения, поскольку сообщение движения не является мгновенным, а требует времени.

Поэтому эта среда обладает способностью получать и сохра­нять два вида энергии, а именно: «актуальную» энергию, завися­щую от движения ее частей, и «потенциальную» энергию, представ­ляющую собой работу, которую среда выполнит вследствие своей упругости, возвращаясь к первоначальному состоянию, после того смещения, которое она испытала.

Распространение колебаний состоит в непрерывном преобра­зовании одной из этих форм энергии в другую попеременно, и в любой момент энергия во всей среде разделена поровну, так что половина энергии является энергией движения, а другая полови­на — энергией упругого напряжения.

Среда, имеющая такого рода структуру, может быть спо­собна к другим видам движения и смещения, чем те, которые обусловливают явления света и тепла; некоторые из них могут быть таковы, что они воспринимаются нашими чувствами при посредстве тех явлений, которые они производят.

Сейчас мы знаем, что светоносная среда в отдельных слу­чаях испытывает действие магнетизма, так как Фарадей открыл, что когда плоскополяризованный луч проходит через прозрач­ную диамагнитную среду в направлении магнитных силовых ли­ний, образуемых магнитами или токами, то плоскость поляриза­ции начинает вращаться.

Это вращение всегда происходит в том направлении, в кото­ром положительное электричество должно проходить вокруг диамагнитного тела для того, чтобы образовать действующее маг­нитное поле.

Верде с тех пор открыл, что если заменить диамагнитное тело парамагнитным, например раствором треххлористого железа в эфире, то вращение происходит в обратном направлении.

Профессор В. Томсон указал, что никакое распределение сил, действующих между частями какой-либо среды, единственным движением которой является движение световых колебаний, не­достаточно для объяснения этих явлений, но что должно до­пускаться существование в среде движения, зависящего от намаг­ничивания, в дополнение к тому колебательному движению, кото­рое представляет собой свет.

Совершенно правильно, что вращение плоскости поляризации вследствие магнитного воздействия наблюдалось только в сре­дах, обладающих заметной плотностью. Но свойства магнитного поля не так уж сильно изменяются при замене одной среды дру­гой или вакуумом, чтобы допустить, что плотная среда делает нечто большее, чем простое изменение движения эфира. Поэтому имеем ставтся вопрос: не проис­ходит ли движение эфирной среды везде, где бы ни наблюдались магнитные эффекты? Предполагается, что это движение является движением вращения, име­ющим своей осью направление магнитной силы.

Рассмотрим другое явление, наблюдаемое в электромагнитном поле. Когда тело движется, пересекая линии магнитной силы, оно испытывает то, что называют электродвижу­щей силой; два противоположных конца тела электризуются противоположно, и электрический ток стремится пройти через тело. Когда электродвижущая сила достаточно велика и действу­ет на некоторые химически сложные тела, она их разлагает и за­ставляет одну из компонент направляться к одному концу тела, а другую — в противоположную сторону.

В данном случае имеется очевидное проявление силы, вызы­вающей электрический ток вопреки сопротивлению и электризу­ющей концы тела противоположным образом. Это особое состоя­ние тела поддерживается только воздействием электродвижущей силы, и, как только эта сила устраняется, оно стремится с рав­ной и противоположно направленной силой вызывать обратный ток через тело и восстановить его первоначальное электрическое состояние. Наконец, если эта сила достаточно велика, она раз­лагает химические соединения и перемещает компоненты в двух противоположных направлениях, в то время как их естественной тенденцией является тенденция к взаимному соединению с такой силой, которая может породить электродвижущую силу обратно­го направления.

Эта сила, следовательно, является силой, воздействующей на тело вследствие его движения через электромагнитное поле или вследствие изменений, возникающих в самом этом поле. Действие этой силы проявляется или в порождении тока и нагревании тела, или в разложении тела, или если она не может сделать ни того, ни другого, то в приведении тела в состояние электрической поляризации — состояние вынужденное, при котором концы тела наэлектризованы противоположно и от которого тело стремится освободиться, как только будет удалена возмущающая сила.

Согласно предлагаемой теории, эта электродвижу­щая сила является силой, возникающей при передаче движения от одной части среды к другой, так что именно благодаря этой силе движение одной части вызывает движение другой. Когда электродвижущая сила действует вдоль проводящего контура, она производит ток, который в том случае, если он встречает сопротивление, вызывает постоянное превращение электрической энергии в тепло; последнее уже нельзя восстановить в форме электрической энергии каким-либо обращением процесса.

Но когда электродвижущая сила действует на диэлектрик, она создает состояние поляризации его частей, которое аналогич­но поляризации частей массы железа под влиянием магнита и которое, подобно магнитной поляризации, может быть описано как состояние, в котором каждая частица имеет противополож­ные концы в противоположных состояниях.

В диэлектрике, находящемся под действием электродвижущей силы, мы можем представлять, что электричество в каждой мо­лекуле так смещено, что одна сторона молекулы делается поло­жительно наэлектризованной, а другая — отрицательно наэлек­тризованной, однако электричество остается полностью связан­ным с молекулами и не переходит от одной молекулы к другой. Эффект этого воздействия на всю массу диэлектрика выражается в общем смещении электричества в определенном направлении. Это смещение не равноценно току, потому что, когда оно дости­гает определенной степени, то остается неизменным, но оно есть начало тока и его изменения образуют токи в положительном или отрицательном направлениях сообразно тому, увеличивается или уменьшается смещение. Внутри диэлектрика нет признаков ка­кой-либо электризации, так как электризация поверхности любой молекулы нейтрализуется электризацией поверхности молекулы, находящейся в соприкосновении с ней. На граничной поверхнос­ти диэлектрика, где электризация не нейтрализуется, мы обна­руживаем явления, указывающие на положительную или отри­цательную электризацию этой поверхности.

Отношение между электродвижущей силой и электрическим смещением, которое она вызывает, зависит от природы диэлек­трика, причем та же самая электродвижущая сила обычно про­изводит большее электрическое смещение в твердых диэлектри­ках, например в стекле или сере, чем в воздухе.

Здесь, таким образом, усматривается еще один эффект электродвижущей силы, а именно электрическое смещение, кото­рое, согласно теории, является некоторым родом упругой податливости действию силы, похожей на ту, которая имеется в сооружениях и машинах из-за неполной жесткости связей.

Практическое исследование индуктивной емкости диэлек­триков делается затруднительным вследствие двух мешающих явлений. Первое заключается в проводимости диэлектрика, кото­рая, будучи во многих случаях исключительно малой, тем не ме­нее не является совершенно неощутимой. Второе — явление, назы­ваемое электрической абсорбцией и состоящее в том, что, когда диэлектрик подвергается воздействию электродвижущей силы, электрическое смещение постепенно увеличивается, а если элек­тродвижущая сила устраняется, диэлектрик не возвращается моментально в свое первоначальное состояние, но разряжает только часть сообщенной ему электризации и, предоставленный самому себе, постепенно приобретает электризацию на своей по­верхности, тогда как внутренность диэлектрика постепенно деполяризуется. Почти все твердые диэлектрики обнаруживают это явление, которое объясняет остаточный заряд лейденской банки и некоторые явления в электрических кабелях, описанных Ф. Дженкином.

Встречаемся здесь с двумя другими родами податли­вости, отличными от упругости идеального диэлектрика, которую сравнивали с идеально упругим телом. Податливость, отно­сящуюся к проводимостям, можно сравнить с податливостью вязкой жидкости (иначе говоря, жидкости, имеющей большое внутреннее трение) или мягкого тела, в котором малейшая сила производит постоянное изменение формы, увеличивающееся вместе со временем действия силы. Податливость, связанная с явлением электрической абсорбции, может быть сравнена с по­датливостью упругого тела клеточной структуры, содержащего густую жидкость в своих полостях. Такое тело, подвергнутое давлению, сжимается постепенно, а когда давление устраняется, тело не сразу принимает свою прежнюю форму, потому что упру­гость материи тела должна постепенно преодолеть вязкость жид­кости, прежде чем восстановится полное равновесие. Некоторые твердые тела, хотя и не имеют той структуры, о которой говорилось выше, обнаруживают механические свойства такого рода, и вполне возможно, что эти же самые вещества в качестве диэлектриков обладают аналогичными электрическими свойства­ми, а если они являются магнитными веществами, то обладают соответствующими свойствами, относящимися к приобретению, удерживанию и потере магнитной полярности.

Поэтому кажется, что некоторые явления электричества и магнетизма приводят к тем же заключениям, как и оптические явления, а именно: что имеется эфирная среда, проникающая во все тела и изменяемая только в некоторой степени их присутст­вием; что части этой среды обладают способностью быть приве­денными в движение электрическими токами и магнитами; что это движение сообщается от одной части среды к другой при по­мощи сил, возникающих от связей этих частей; что под дейст­вием этих сил возникает определенное смещение, зависящее от упругости этих связей, и что вследствие этого энергия в среде может существовать только в двух различных формах, одна из которых является актуальной энергией движения частей среды, а другая — потенциальной энергией, обусловленной связями частей в силу их упругости.

Отсюда пришли к концепции сложного механизма способного к обширному разнообразию движений, но в то же самое время связанного так, что движение одной части зависит согласно определенным отношениям, от движения других частей, причем эти движения сообщаются силами, возникающими из от­носительного смещения связанных между собой частей вслед­ствие упругости связей. Такой механизм должен подчиняться общим законам динамики, и мы должны вывести все следствия этого движения, предполагая, что известна форма отношения между движениями частей.

# Общие уравнения электромагнитного поля

В эти уравнения электромагнитного поля входят 20 перемен­ных величин, а именно:

Для электромагнитного количества движения ……………….F*,* G, H

* магнитной интенсивности [напряженности] …….
* электродвижущей силы ……………………………P, Q, R
* тока, обусловленного (истинной) проводимостью .p, q, r
* электрического смещения …………………………f, g, h
* полного тока (включая изменения смещения) ……p*',* q*', r'*
* количества свободного электричества ……………….*е*
* электрического потенциала ……………………………

Между этими 20-ю переменными величинами нашли 20 уравнений, а именно:

Три уравнения магнитной силы …………………..(B)

* электрических токов ………………………(С)
* электродвижущей силы ……………………*(D)*
* электрической упругости ………………….*(Е)*
* электрического сопротивления ……………*(F)*
* полных токов ………………………………..*(A)*

Одно уравнение свободного электричества ……….(С)

* непрерывности ………………………………*(Н)*

Этих уравнений, следовательно, достаточно, чтобы опреде­лить все величины, встречающиеся в них, если только мы знаем условия задачи. Во многих вопросах, однако, требуются только некоторые из этих уравнений.

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 теории Максвелла, она находится в электромагнитном поле, в пространстве, окружающем наэлектризованные и намагниченные тела, а также и в самых 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.

Заключения, к которым пришли, независимы от этой гипотезы, так как они выделены из экспери­ментальных фактов троякого рода:

1) индукция электрических токов путем увеличения или уменьшения силы соседних токов сообразно изменениям в сило­вых линиях, пронизывающих контур;

2) распределение магнитной напряженности сообразно изме­нениям магнитного потенциала;

3) индукция (или влияние) статического электричества через диэлектрики.

# Электромагнитные волны

Однако уравнения Максвелла сделали еще больше: исходя из их формы, можно было установить, что они пригодны для выражения волнового электромагнитного возмущения, передающегося предположительно со скоростью, близкой к скорости света. XIX век уже был свидетелем великого переворота, в идеях о природе света. Однако если огненные частицы уже не были больше нужны, то все же требовалась какая-то среда, которая должна была передавать волны даже через обширную пустоту пространства, и «светоносный эфир», обладавший несовместимыми свойствами высокой степени разреженности и одновременно высокой упругости, должен был выполнять роль подлежащего сказуемого «колебаться». Однако давно известно также и то, что электричество и магнетизм могут передаваться через пустое пространство. Для них были созданы одинаково неосязаемые поля. Максвелл действительно показал, что один-единственный, но все еще таинственный эфир пригоден для всех трех случаев. Он добился большой лаконичности и упрощения физики, что вскоре должны было иметь весьма важные последствия.

Одним из них было установление нового единства между различными отделами науки: вся теория света представала теперь как явление электромагнетизма. Другим следствием явился вывод, что электромагнитные колебания должны посылать в эфир волны, подобные световым, однако со значительно меньшими частотами.

С уравнениями Максвелла теория электричества, казалось, приняла настолько законченный характер, что будущее физики как будто содержало возможности только для ее расширения и усовершенствования. Фактически, как мы увидим в следующей главе, теория эта охватывала лишь небольшую часть всех явлений – их этих уравнений совершенно выпала.

# Электромагнитная теория света

Важнейшим достижением периода конца XIX века в области физики явилось выдвижение Максвеллом электромагнитной теории света. Тем самым были обобщены в одной всеобъемлющей теории и получили простую математическую формулу результаты опытов и теоретических построений двух поколений физиков в различных областях этой науки – электричестве, магнетизме и оптике. Хотя такое обобщение само по себе и представляло победу математической физики, все же оно нуждалось для своего подтверждения в установлении точных единиц для измерения электричества – задача, которая была поставлена возникновением электротехнической промышленности. В свою очередь уравнения Максвелла должны были составить теоретическую базу будущего электромашиностроения, представлявшего собой сложную взаимозависимость теории и практики.

В начале пользовались оптической гипоте­зой упругой среды, через которую распространяются колебания света, чтобы показать, что имеются серьезные основания ис­кать в этой же среде причину других явлений в той же мере, как и причину световых явлений. Мы рассмотрели электромагнитные явления, пытаясь их объяснить свойствами поля, окружающего наэлектризованные или намагниченные тела. Таким путем пришли к определенным уравнениям, выражающим определен­ные свойства электромагнитного поля. Исследовалось, яв­ляются ли свойства того, что составляет электромагнитное поле которые выведены только из электромагнитных явлений, достаточными для объяснения распространения света через ту же самую субстанцию.

Единственной средой, в которой производились опыты для определения значения k*,* был воздух, в котором  равно единице, откуда имеется

V=v.

Согласно электромагнитным опытам Вебера и Кольрауша,

v== 310740000 м/с

является количеством электростатических единиц в одной элект­ромагнитной единице электричества, и это, согласно нашему ре­зультату, должно быть равно скорости света в воздухе или вакууме.

Скорость света в воздухе по опытам Физо равна *V* *=* 314 858 000 [м/с], а согласно более точным опытам Фуко, *V* = 298 000 000 [м/с].

Скорость света в пространстве, окружающем Землю, выве­денная из коэффициента аберрации и из радиуса земной орбиты, равна *V* = 308 000 000 [м/с].

Следовательно, скорость света, определенная эксперимен­тально, достаточно хорошо совпадает с величиной *v,* выведенной из единственного ряда экспериментов, которыми мы до сих пор располагаем. Значение *v* было определено путем измерения электродвижущей силы, используемой для зарядки конденсатора известной емкости, который затем разряжается через гальвано­метр, чтобы выразить количество электричества в нем в электро­магнитных единицах. Единственным применением света в этих опытах было использование его для того, чтобы видеть инстру­менты. Значение *V,* найденное Фуко, было получено путем опре­деления угла, на который поворачивается вращающееся зеркало, пока отраженный им свет прошел туда и обратно вдоль измерен­ного пути. При этом не пользовались каким-либо образом элект­ричеством и магнетизмом. 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.

Уравнения электромагнитного поля, выведенные из чисто экспериментальных фактов, показывают, что могут распростра­няться только поперечные колебания. Если выйти за пределы нашего экспериментального знания и предположить определен­ную плотность субстанции, которую мы могли бы назвать элект­рической жидкостью, и выбрать стеклянное или смоляное электричество в качестве представителей этой жидкости, тогда мы могли бы иметь продольные колебания, распространяющиеся со скоростью, зависящей от этой плотности. Однако мы не имеем никаких данных, относящихся к плотности электричества, и мы даже не знаем, считать ли нам стеклянное электричество субстанцией или отсутствием субстанции.

Следовательно, наука об электромагнетизме ведет к совер­шенно таким же заключениям, как и оптика в отношении направ­ления возмущений, которые могут распространяться через поле; обе эти науки утверждают поперечность этих колебаний и обе дают ту же самую скорость распространения. С другой стороны, обе науки бессильны, когда к ним обращаются с вопросом о подтверждении или отрицании существования продольных коле­баний.

# Библиографический список

1. Большая советская энциклопедия. Издательство "Советская энциклопедия", М., 1974.
2. Дж. Бернал. Наука в истории общества. Издательство иностранной литературы, М., 1956.
3. Г.М. Голин, С.Р. Филонович. Классики физической науки. "Высшая школа". М., 1989.