

Но если механические аналогии и модель Максвелла были и не безупречными, важность полученного им результата была сразу оценена современниками. Точные измерения электрических и магнитных констант с целью проверки соотношения $n = \sqrt{\epsilon\mu}$, с одной стороны, и отношения единиц—с другой, стали программой работ ряда выдающихся физиков и до опытов Герца и Лебедева служили обоснованием электромагнитной теории света. О фундаментальном вкладе русской физики в обоснование и развитие этой теории смотри примечания к «Динамической теории поля» и «Трактату». (Ред.)

25. (Стр. 178.) Явление магнитного вращения плоскости поляризации, открытое Фарадеем в 1845 г., было первым экспериментальным указанием на наличие связи между оптическими и магнитными явлениями, и понятно, что Максвелл придавал теоретическому истолкованию этого явления особо важное значение в обосновании электромагнитной теории света. Как видно из последующего изложения этой части труда Максвелла, он связывал вращение плоскости поляризации с вращением вокруг силовых линий, предположенных им в его вихревой теории. Но вращения плоскости поляризации в эфире не наблюдается, и теоретическое объяснение вращения плоскости поляризации удалось только электронной теории на основе связи явления Фарадея с явлением Зеемана. (Ред.)

ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

1. (Стр. 251.) «Динамическая теория поля» является первым трудом Максвелла, в котором полностью изложены основы его теории. С этого по выражению Джинса «наиболее важного и имеющего наибольшее влияние мемуара из всех написанных им (Максвеллом) вообще» датирует электромагнитная теория света. Выводы Максвелла дали возможность Энгельсу, с большим сочувствием следившему за появлением новых «эфирных» теорий электричества, отметить «один бесспорный успех» теории Максвелла: «Клерк Максвелла... вычислил, что удельная диэлектрическая постоянная какого-нибудь тела равна квадрату его показателя преломления света» («Диалектика природы», стр. 90, 1946). Энгельс отмечает и подтверждение этого вывода экспериментами Больцмана 1872—1874 гг.

Можно указать на следующие факты, относящиеся к пред- истории электромагнитной теории света. Еще Ломоносов был убежден в существовании связи между светом и электричеством. Он предлагал осуществить опыт для определения влияния электризации тела на его показатель преломления. Разбирая вопрос о природе электрических явлений, Ломоносов писал: «Так как эти явления имеют место в пространстве, лишенном воздуха, а свет и огонь происходят в пустоте и зависят от эфира, то кажется правдоподобным, что эта электрическая материя тождественна с эфиром» (курсив мой.— П. К.). Ломоносов безоговорочно принимал волновую эфирную теорию света, но считал, что для объяснения электрических явлений необходимо ближе изучить природу эфира.

Эйлер вполне определенно высказал эфирную концепцию электрических явлений, одновременно считая свет волнами в эфире. Взгляды Эйлера были известны Фарадею, который прямо указывал, что в своей попытке объединить магнитные и световые явления, исходя из представлений о магнитных силовых

линиях, он исходил, в частности, из следующих соображений: «4. Идея Эйлера о магнитных эфирах или циркулирующих флюидах...» «6. Пример борьбы между двумя теориями света и разрешение этого вопроса экспериментальным путем». В параграфе 3301 своих исследований он опять ссылается на эфирную теорию магнетизма Эйлера, изложенную последним в «Письмах к немецкой принцессе», и указывает, что его теория приближается к теории Эйлера. Открытие Фарадеем в 1845 г. связи между магнетизмом и светом укрепило его идею о единстве сил природы и концепцию близкодействия.

В 1846 г. в «Мыслях о лучевых вибрациях» Фарадей высказывает положение об электромагнитных излучениях, распространяющихся посредством некоторых поперечных вибраций линий сил с конечной скоростью, которую он, опираясь на ошибочные опыты Уитстона, полагал близкой к скорости света. Эти мысли Фарадея Максвелл и рассматривает как первичный очерк электромагнитной теории света. В записке, найденной В. Бреггом в библиотеке Королевского общества, Максвелл прямо пишет: «Электромагнитная теория света, предложенная им (Фарадеем) в „Мыслях о лучевых колебаниях“ (Phil. Mag. май 1846 г.) или „Экспериментальных исследованиях“ (Exp. Res., стр. 447), — это по существу то же, что я начал развивать в этой статье („Динамическая теория электромагнитного поля“, Phil. Mag., 1865) за исключением того, что в 1846 г. не было данных для вычисления скорости распространения. Дж. К. М.»*)

Очень существенно отметить, что Фарадея в указанной статье чрезвычайно заботит мысль о необходимости совместить свою гипотезу с поперечным характером волн, что он справедливо считал несовместимым с гипотезой о тонком «жидком» эфире. Поэтому он подчеркивает, что его идея «освободит нас от эфира». Он полагает, что его концепция пространства, заполненного силовыми линиями, «находится в подходящих условиях для действия, которое может считаться эквивалентным поперечному колебанию, в то время как однородная среда, подобная эфиру, не кажется для этого подходящей или более подходящей, чем воздух или вода» **).

Действительно, факт поперечности волн, который вынуждены были признать Юнг и Френель, причинил огромные трудности механической теории света. Теория Максвелла, сводя свет к электромагнитным волнам, вывела теорию света из тупика, о котором уже думал Фарадей. Чрезвычайно поучительно привести конец его статьи «О физических линиях магнитной силы», в котором он говорит о физическом состоянии пространства, заполненного магнитным полем.

«Что это за состояние или чем оно обусловлено, еще невозможно сказать. Оно может быть связано с эфиром, как связан

с ним луч света, а связь между светом и магнетизмом уже была показана. Оно может зависеть от состояния натяжения или состояния колебания или может быть от некоторого другого состояния, аналогичного электрическому току, с которым магнитные линии так тесно связаны. Ответ на вопрос: требует ли оно обязательно для своего существования наличия материи, будет зависеть от того, что понимается под термином материя. Если этот термин ограничить весомыми или тяготеющими субстанциями, материя будет для физических линий магнитной силы существенна не в большей мере, чем для лучей света или тепла. Но если, предполагая существование эфира, мы будем считать его видом материи, то линии силы могут зависеть от некоторой его функции. Экспериментально пустое пространство является магнитом. Но тогда идея о таком пустом пространстве должна включать представление об эфире, если, говоря о нем, верить в его существование. Или, если даже возникнет какое-либо другое представление о состоянии или свойстве пространства, то оно должно будет учесть то, что в настоящее время в соответствии с опытом называется пустым пространством. С другой стороны, я думаю, является установленным фактом, что весомая материя не является безусловно необходимой для существования линий магнитной силы» *) (курсив мой. — П. К.).

А вот высказывания современного автора: «Существование нулевых колебаний электромагнитного поля и поляризационных колебаний (флуктуаций) позитронно-электронного поля приводит к заключению, что поле существует постоянно, и в этом смысле нет никакой пустоты. Поэтому эту «пустоту» теперь называют более осторожным словом «вакуум». Как мы видим, «вакуум» обладает физическими свойствами и притом такими, которые хорошо знакомы нам из явлений в твердых телах: нулевые колебания и поляризация **») (подчеркнуто автором).

Максвелл имел и других предшественников. В 1848 г. была опубликована работа Мак-Куллоха (написанная в 1839 г.) «Опыт динамической теории отражения и преломления». Мак-Куллох делает предположение, что упругий потенциал среды, в которой распространяются волны, может быть выражен квадратичной функцией вектора вращения:

$$V = a^2 \left(\frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + b \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2$$

Отсюда Мак-Куллох без дополнительных предположений вывел формулы Френеля, как известно, автоматически получающиеся из уравнений Максвелла. Фитцджеральдом в 1880 г.

*) «Из предистории радио», Изд. АН СССР, 1948, стр. 62.

***) Д. И. Блохинцев, Элементарные частицы и поле, УФН, сентябрь 1950 г.

*) В. Врегг, История электромагнетизма, стр. 32, 1947.

***) Сб. «Из предистории радио», Изд. АН СССР, стр. 56, 1948.

было показано, что уравнения Мак-Куллоха непосредственно связаны с уравнениями Максвелла. Если обозначить составляющие вектора вращения Мак-Куллоха через ξ , η , ζ :

$$\xi = \frac{\partial v}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial y}, \quad \eta = \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial z}, \quad \zeta = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x}$$

и ввести, далее,

$$u_1 = c \int \xi dt, \quad v_1 = c \int \eta dt, \quad w_1 = c \int \zeta dt,$$

то, применяя принцип Гамильтона, можно прийти к уравнениям:

$$\frac{1}{c} (\dot{u}_1, \dot{v}_1, \dot{w}_1) = -\text{rot}(u, v, w),$$

$$\frac{1}{c} (\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}) = \text{rot}(u_1, v_1, w_1),$$

из которых вместе с дополнительными условиями

$$\text{div}(u, v, w) = 0, \quad \text{div}(u_1, v_1, w_1) = 0$$

вытекают волновые уравнения:

$$\frac{\ddot{u}}{c^2} = \Delta u, \quad \frac{\ddot{v}}{c^2} = \Delta v, \quad \frac{\ddot{w}}{c^2} = \Delta w.$$

В 1858 г. Риман представил Геттингенскому научному обществу мемуар, в котором он «приводит в тесную связь теорию электричества и магнетизма с теорией света и лучистой теплоты». Риман обобщает уравнение Пуассона для электрического потенциала

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 4\pi\rho = 0$$

в уравнение типа Даламбера

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \alpha^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + \alpha^2 4\pi\rho = 0,$$

который имеет частный интеграл вида $\frac{f\left(t - \frac{2}{\alpha}\right)}{2}$. Константа Римана

$$\alpha^2 = \frac{c^2}{2}.$$

где c^2 — обратная константа Вебера. Риман приводит данные Вебера и Кольрауша

$$c = 439\,450 \cdot 10^6 \text{ мм/сек},$$

отсюда

$$\alpha = 41\,949 \frac{\text{геогр. миль}}{\text{сек}}.$$

«Тогда как, — замечает Риман, — для скорости света из наблюдений Буша и Брадлея над абберацией было получено число 41 994, а из прямых наблюдений Физо — число 41 882» *).

Эта работа Римана была опубликована уже после его смерти, т. е. после 1866 г., и Максвеллу не была знакома во время его работы над «Динамической теорией поля». Однако чрезвычайно важно подчеркнуть тот факт, что и Максвелл опирался на согласие электрических и оптических измерений константы c . В письме к Фарадею 19 октября 1861 г. Максвелл пишет: «Из определенного Кольраушем и Вебером численного отношения между статическим и магнитным действием электричества я определил упругость среды в воздухе и, считая, что она тождественна с упругостью светового эфира, определил скорость распространения поперечных колебаний. Результат — 193 088 миль в секунду. Физо определил скорость света в 193 118 миль в секунду прямым опытом».

Таковы предпосылки теории Максвелла. Как и во времена открытия Ньютоном закона тяготения, «идея носится в воздухе». (Ред.)

2. (Стр. 252.) Кроме В. Вебера теорию электродинамики, базирующуюся на принципе дальнего действия в Ампера, пытались разработать Г. Грассман, Ф. Нейман, Гаусс, Риман, К. Нейман, Клаузиус и др. Краткую характеристику различных теорий дальнего действия см. в примечаниях к последней главе «Трактата». (Перев.)

3. (Стр. 253.) Здесь впервые дается определение понятия электромагнитного поля. (Ред.)

4. (Стр. 253.) Максвелл, как и многие его предшественники и современники, различает два вида материи: обычную, которую он именует «грубой материей» (gross matter) и «тонкую материю», или эфир, наполняющий как промежутки между частицами обычной материи, так и все мировое пространство. Термин «gross matter» можно было бы перевести как «сгущенная» или «конденсированная материя». (Ред.)

*) Р и м а н, Сочинения, 1948.

5. (Стр. 255.) Магнитное вращение плоскости поляризации было открыто Фарадеем в 1846 г., им же было установлено правило знаков для направлений вращения на основе известного закона Ленца. Подробную теорию магнитного вращения плоскости поляризации Максвелл дает в томе II «Трактата», гл. XXI; см. стр. 578 настоящего издания. (Перев.)

6. (Стр. 256.) Из текста Максвелла видно, что Максвелл придерживается еще старой точки зрения о разложении электролитов электрическим полем, которая была подвергнута критике Клаузиусом в 1857 г. (Перев.)

7. (Стр. 258.) В этом месте работы Максвелл вводит фундаментальное понятие тока смещения, которое выкристаллизовалось уже в его предыдущих работах. (Ред.)

8. (Стр. 258.) Терминами «specific inductive capacity» и «specific dielectric capacity» — удельная «индуктивная» или «диэлектрическая» емкость — Максвелл обозначает то, что ныне называют *диэлектрической проницаемостью диэлектрика*. Если напряженность поля обозначить через E , то индукция будет $B = \epsilon E$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость. Под диэлектрическим смещением Максвелл разумеет величину $D = kE$, где $k = \frac{\epsilon}{4\pi}$, т. е. $D = \frac{\epsilon}{4\pi} E$. (Перев.)

9. (Стр. 260.) Эта особенность метода Максвелла, на которую мы указывали и раньше (механические модели для уяснения электромагнитных взаимосвязей), нередко вызывала осуждение в первую очередь среди сторонников «чистого описания». Как было уже указано, метод построения моделей вполне законен и широко применялся и применяется в теоретической физике, помогая глубже раскрыть природу изучаемых взаимосвязей. Напомним (это ясно понимал и Максвелл), что модель отнюдь не исчерпывает всех сторон изучаемых соотношений, а только приблизительно верно отражает их и в большинстве случаев носит чисто иллюстративный характер. (Ред.)

10. (Стр. 262.) Под магнитной и электрической поляризацией Максвелл разумеет здесь магнитную и электростатическую индукцию, выражаемые соответственно известными формулами

$$B_m = \mu H \quad \text{и} \quad B_e = \epsilon E,$$

где H и E — напряженности полей, μ и ϵ — магнитная и диэлектрическая проницаемости. (Перев.)

11. (Стр. 262.) Гораздо более точный метод определения указанного отношения был разработан А. Г. Столетовым. См. смотри

Собр. соч., т. I, краткое описание смотри в «Очерках по истории физики в России», статья А. К. Тимирязева, стр. 96. (Перев.)

12. (Стр. 262.) См. примечание 8. (Перев.)

13. (Стр. 263.) Опыты Вебера и Кольрауша датируют 1856 г., более точные определения скорости света Физо и Фуко — 1849 и 1862 гг., (Перев.)

14. (Стр. 265.) Точное определение приведенного количества движения см. в примечании 34 Больцмана к «Физическим силовым линиям», стр. 219 настоящего издания. (Перев.)

15. (Стр. 266.) Термином «магнитная сила» (magnetic force) Максвелл обычно обозначает магнитную индукцию ($B_m = \mu H$), именуя напряженность поля (H) «магнитной интенсивностью» (magnetic intensity), а магнитный потенциал — «магнитным напряжением» (magnetic tension) аналогично «электрическому напряжению» — потенциалу (electric tension). (Перев.)

16. (Стр. 268.) Уравнение (3) — аналог обобщенных уравнений Кирхгофа для системы квазистационарных токов. (Ред.)

17. (Стр. 269.) Подробно приведенное соотношение излагается Максвеллом в «Трактате» (т. II, параграф 579, стр. 444 настоящего издания). (Перев.)

18. (Стр. 271.) В тексте Максвелла опечатка: вместо умножения уравнений (4) и (5) говорится об умножении уравнений (1) и (2). (Перев.)

19. (Стр. 272.) Таким образом, магнитную энергию токов Максвелл рассматривает как особую форму кинетической энергии внутреннего скрытого движения среды, не воспринимаемого нами; это движение названо им «actual motion», что мы переводим термином «актуальное движение». (Ред.)

20. (Стр. 273.) Гипотеза электротонического состояния сыграла значительную роль в развитии взглядов Фарадея и Максвелла. Значение этой гипотезы характеризуется Фарадеем в письме к Филлипеу от 24 ноября 1831 г. (см. М. Фарадей, Избранные работы по электричеству, ГТТИ, стр. 58, 1939). Генезис этой гипотезы следующий: основываясь на явлении статической индукции, Фарадей первоначально предположил, что при протекании тока по проводу в соседнем проводе должен обнаружиться индукционный эффект, аналогичный эффекту статической индукции. Однако попытки обнаружить такого рода эффект не увенчались успехом, но зато привели к открытию эффекта электродинамической индукции. Тем не менее Фарадей и вслед за ним Максвелл

были твердо убеждены, что наличие тока создает в окружающей среде и в помещенных в ней проводниках или диэлектриках особое «электротоническое состояние материи», изменения которого и обуславливают эффект электродинамической индукции. В разделе II работы «О фарадеевых силовых линиях» Максвелл дает предварительную физико-математическую характеристику электротонического состояния, а в исследовании «О физических силовых линиях» он пытается построить механическую модель этого состояния. В настоящей работе, а также в «Трактате» Максвелл ограничивается общей концепцией электромагнитного количества движения среды, которую он характеризует при помощи вектора-потенциала. (Перев.)

21. (Стр. 277.) Метод, о котором здесь говорит Максвелл, разъясняется им в следующем параграфе (39), именно, полагая в уравнениях (13) $\xi = \eta C = \text{const}$, получаем значения x и y , выраженные через корни уравнения (16) n_1 и n_2 , которые исключаются при вычислении интегралов $\int x^2 dt$ и $\int y^2 dt$ (см. формулы (17), (18), (19) и (20)). (Перев.)

22. (Стр. 285.) Это—известный прием исследования электромагнитного поля, приводящий к определению \mathbf{B} (вектора магнитной индукции), а не \mathbf{H} , как то имеет место в случае исследования поля магнитной стрелкой. (Реда.)

23. (Стр. 286.) Термином «коэффициент магнитной индукции» Максвелл называет коэффициент магнитной проницаемости. Впервые основательное исследование этого коэффициента было выполнено А. Г. Столетовым в работе 1872 г. «Исследование о функции намагничивания мягкого железа». Смотри об этом «Очерки по истории физики в России», 1949, статья А. К. Тимирязева о Столетове. (Перев.)

24. (Стр. 290.) В современной форме (A)—не уравнение, а определение вектора плотности полного тока:

$$\mathbf{j}_{\text{полн}} = \mathbf{j}_{\text{пров}} + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \quad (\text{Реда.})$$

25. (Стр. 290.) Ясно, что под «электродвижущей силой в точке» Максвелл понимает вектор напряженности электрического поля, компоненты которого он обозначает через P, Q, R . В дальнейшем, однако, он пользуется понятием электродвижущей силы контура (стр. 293), совпадающим с обычным. (Реда.)

26. (Стр. 291.) В этом параграфе содержится, опирающийся на теорему Стокса, вывод выражения вектора индукции через

вектор-потенциал: $\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}$. Вместе с тем Максвелл вводит новое понятие электромагнитного количества движения контура, которое есть не что иное, как магнитный поток, пронизывающий контур. (Реда.)

27. (Стр. 292.) Здесь под магнитной силой (α, β, γ) Максвелл понимает вектор напряженности магнитного поля \mathbf{H} . (Реда.)

28. (Стр. 293.) Уравнения (C) представляют так называемое первое уравнение Максвелла, или, как раньше выражались, первый триплет уравнений Максвелла. В современных обозначениях и в электромагнитной системе единиц эти уравнения принимают вид

$$\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi \mathbf{j}_{\text{пр}} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}. \quad (\text{Реда.})$$

29. (Стр. 296.) В этом параграфе Максвелл касается вопросов электродинамики движущихся сред. Полученное им выражение для электрического поля, обусловленного движением проводника, совпадает с уравнением Герца для движущихся сред, которое, как известно, не является правильным. Теория Герца предполагает полное увлечение эфира движущимися телами.

Вывод Максвелла основан на подсчете изменения потока, обусловленного движением и деформацией контура. Дадим более современный вывод (см. Л. И. Мандельштам, Сочинения, т. V, стр. 128), исходя из второго уравнения Максвелла

$$\mathbf{E} = \oint \mathbf{E}_l dl = - \frac{d\Phi}{dt}$$

и предполагая вместе с Герцем, что контур интегрирования неподвижно связан с движущимся телом. Поток Φ будет меняться как вследствие явной зависимости его от времени, так и вследствие перемещения:

$$\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B}_n dS = \frac{\partial}{\partial t} \int_S \mathbf{B}_n dS + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\int_{S_1} \mathbf{B}_{N_1} dS + \int_{S_2} \mathbf{B}_{N_2} dS}{\Delta t}.$$

Поверхность S при переходе из S_1 в S_2 образует вместе с боковой поверхностью, очерченной при перемещении контура L за время Δt , замкнутую поверхность; внешняя нормаль \mathbf{N}_2 к поверхности S_2 антипараллельна нормали \mathbf{N}_1 , сопряженной направлению обхода контура L .

Вычисляем поток через замкнутую поверхность, ограниченную основаниями S_1 и S_2 и боковой поверхностью с обра-

зующей $u dt$, который для замкнутой поверхности всегда равен нулю:

$$\Phi = \int_{S_1} B_{N_1} dS + \int_{S_2} B_{N_2} dS + \int_{S_1} B_n dS$$

(S — боковая поверхность, n — нормаль к этой поверхности), но

$$\int_{S'} B_n dS' = \int_{S'} (\mathbf{B} [d\mathbf{l} u]) \Delta t = -\Delta t \oint_L [\mathbf{B} u] dl$$

(так как $n dS' = [d\mathbf{l} u] \Delta t$), следовательно,

$$\int_{S_1} B_{N_1} dS + \int_{S_2} B_{N_2} dS = \Delta t \oint_L [\mathbf{B} u] dl.$$

Таким образом,

$$\oint_L E_l dl = - \int_S \frac{\partial B_n}{\partial t} dS - \int_L [\mathbf{B} u] dl = - \int \left\{ \frac{\partial B_n}{\partial t} + \text{rot}_n [\mathbf{B} u] \right\} dS,$$

$$\oint_L E_l dl = \int_S \text{rot}_n \mathbf{E} dS,$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = - \left\{ \frac{\partial B}{\partial t} + \text{rot} [\mathbf{B} u] \right\}.$$

Для стационарного поля $\text{rot } \mathbf{E} = \text{rot} [\mathbf{B} u]$, $\mathbf{E} = [\mathbf{B} u]$ и в обозначениях Максвелла

$$P = \mu\gamma \frac{dy}{dt} - \mu\beta \frac{dz}{dt}.$$

30. (Стр. 296.) Из основного максвелловского соотношения для диэлектрического смещения $D(f, g, h) = \frac{\epsilon}{4\pi} E(P, Q, R)$ видно, что фигурирующий в «уравнениях электрической упругости» коэффициент $k = \frac{4\pi}{\epsilon}$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость. (Перев.)

31. (Стр. 297.) Уравнения (I') представляют собой закон Ома для тока. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что Максвелл стремится выразить этот закон в форме своеобразной силы вязкости: электрическое поле уравновешивает силу сопротивления, пропорциональную скорости, причем

роль скорости играет вектор полного тока. Отсюда и отрицательный знак в формуле. (Ред.)

32. (Стр. 297.) Это известное уравнение Пуассона $\text{div } \mathbf{D} = 4\pi\rho$, где ρ (у Максвелла обозначенное через e) — объемная плотность электричества. В примечаниях к «Фарадевым силовым линиям» (стр. 103 настоящего издания) Больцман справедливо отмечает путаницу в начертаниях некоторых формул в работах Максвелла. Так, в английском оригинале «Фарадевых силовых линий» (Scient. Pap., стр. 192) Максвелл пишет уравнение Пуассона в форме $\text{div } \mathbf{D} = 4\pi\rho$, но Больцман вынужден был в своем переводе переменить знак правой части на обратный для согласования формулы с остальным текстом. В «Динамической теории электромагнитного поля» уравнение Пуассона фигурирует, как мы видим, в начертании $\text{div } \mathbf{D} = -e$, в первом томе «Трактата», параграфе 77, в начертании $\text{div } \mathbf{D} = 4\pi\rho$, но во втором томе, параграфе 610, в виде $\text{div } \mathbf{D} = \rho$. Заметим, однако, что, повидимому, в начертании уравнения (G) допущена просто опечатка и вместо e должно быть $(-e)$, что видно из максвелловской записи уравнения непрерывности (H). Это уравнение получается дифференцированием по x, y, z и складыванием уравнений токов (C), принимая во внимание значения величин p', q', r' согласно формулам (A) и значение $e = \text{div } \mathbf{D}$ согласно уравнению (G). (Перев.)

33. (Стр. 298.) Максвелл не дает отдельно уравнения $\text{div } \mathbf{B} = 0$, так как оно автоматически следует из уравнений (B). Уравнения электромагнитного поля (B) — (H) не совпадают полностью с современной их формой, которая была дана впервые Герцем (1884 г.) и независимо от него Хевисайдом (1885 г.).

34. (Стр. 298.) Таким образом, в современных обозначениях система уравнений, установленная здесь Максвеллом, имеет вид

$$\mathbf{B} = \text{rot } \mathbf{A}, \quad (\text{B})$$

$$\text{rot } \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \quad (\text{C})$$

$$\mathbf{E} = -[\mathbf{B} u] - \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} - \text{grad } \psi, \quad (\text{D})$$

$$\mathbf{E} = \frac{4\pi}{\epsilon} \mathbf{D}, \quad (\text{E})$$

$$\sigma \mathbf{E} = \mathbf{j}, \quad (\text{F})$$

$$\mathbf{j}_{\text{поля}} = \mathbf{j} + \frac{1}{4\pi} \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}, \quad (\text{A})$$

$$\text{div } \mathbf{D} = 4\pi\rho, \quad (\text{G})$$

$$\text{div } \mathbf{j} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \quad (\text{H}) \quad (\text{Ред.})$$

35. (Стр. 299.) Поясним вывод Максвелла. Энергия

$$E = \frac{1}{2} \int A j_{\text{полн}} dV,$$

$$j_{\text{полн}} = \frac{1}{4\pi} \text{rot } H.$$

Далее,

$$A \text{ rot } H = -\text{div} [AH] + H \text{ rot } A,$$

поэтому

$$E = \frac{1}{8\pi} \int \text{div} [AH] dV + \frac{1}{8\pi} \int H \text{ rot } A dV;$$

первый интеграл преобразуется по теореме Остроградского-Гаусса и на границе исчезает. Следовательно,

$$E = \frac{1}{8\pi} HB dV,$$

что и совпадает с уравнением (38). (Ред.)

36. (Стр. 301.) Максвелл, указывая на вспомогательный, иллюстративный характер механических образов в электродинамике, настаивает, однако, на полной применимости понятия энергии как кинетической, так и потенциальной, к электромагнитному полю, причем эта энергия по Максвеллу в отличие от старых теорий локализована в поле.

Идею локализации энергии в среде и закон ее движения в среде разрабатывал Н. А. Умов в своей диссертации «Уравнения движения энергии в среде» 1873 г. (Ред.)

37. (Стр. 302.) Вычисления в этом параграфе аналогичны вычислениям параграфа 64 с различием, относящимся к характеру расположения и движения проводника. Более подробное вычисление значения электромагнитной силы см. «Трактат», параграфы 583, 602 и 603. Результат соответствует известной формуле Ампера. (Перев.)

38. (Стр. 304.) В тексте Максвелла опечатка: вместо «сумма количеств $\varphi_1\varphi_1 + \varphi_2\varphi_2$ должна оставаться постоянной» сказано: «количества $\varphi_1\varphi_1$ и $\varphi_2\varphi_2$ должны оставаться постоянными». (Перев.)

39. (Стр. 308.) Описание метода и результаты опытов Вебера и Кольрауша даны в их статье, переведенной в сборнике «Из предистории радио», Изд. АН СССР, стр. 209—217, 1948. (Ред.)

40. (Стр. 320.) Уравнения магнитной силы:

$$B = \text{rot } A. \quad (B)$$

Уравнения токов:

$$\text{rot } H = 4\pi j + \frac{\partial D}{\partial t}. \quad (C)$$

Считая μ постоянной, имеем:

$$\text{rot } B = 4\pi\mu j_{\text{полн}},$$

или

$$\text{rot rot } A = \text{grad div } A - \Delta A = 4\pi\mu j_{\text{полн}}.$$

В диэлектрике

$$j_{\text{поле}} = \frac{\epsilon}{4\pi} \frac{\partial E}{\partial t} = k \frac{\partial E}{\partial t} = -k \left(\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \text{grad } \frac{\partial \psi}{\partial t} \right).$$

Следовательно,

$$\text{grad div } A - \Delta A + 4\pi\mu k \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + 4\pi\mu k \text{grad } \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0.$$

Отсюда, если положить дополнительно

$$\text{div } A + 4\pi\mu k \frac{\partial \psi}{\partial t} = 0,$$

получается волновое уравнение

$$\Delta A = 4\pi\mu k \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = \epsilon\mu \frac{\partial^2 A}{\partial t^2}.$$

Отсюда волновое уравнение для B

$$\Delta B = \epsilon\mu \frac{\partial^2 B}{\partial t^2},$$

с выводом

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (c = 1). \quad (Ред.)$$

41. (Стр. 323.) Электромагнитная теория света Максвелла и вообще максвелловская теория электромагнетизма как ее основа долго не находили себе признания.

Решительную победу этой теории обеспечили открытие Герцем электромагнитных волн и экспериментальное установление

Лебедевым давления света; последнее открытие устранило всякие сомнения в правильности максвелловской теории.

А. К. Тимирязев (см. его «Введение в теоретическую физику», стр. 168) рассказывает, со слов П. Н. Лебедева, следующий интересный эпизод, связанный с электромагнитной теорией света Максвелла.

В 1888 г., т. е. за год до знаменитых опытов Герца, видный теоретик проф. Э. Кон читал в Страсбурге курс теоретической оптики на основе классической теории Юнга-Френеля, причем взгляды Максвелла в этом курсе передавались как курьез на одной из заключительных лекций. В 1889 г. тот же проф. Кон читал курс теоретической оптики уже полностью на основе теории Максвелла. (Перев.)

ТРАКТАТ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ И МАГНЕТИЗМЕ

1. (Стр. 345.) Знаменитый «Трактат» Максвелла, вышедший в 1873 г., завершает круг его работ, посвященных теории электромагнитного поля. Максвелл подводит в нем итоги развития учения об электромагнитных явлениях, как в трудах своих предшественников и современников (Остроградского, Гаусса, Ампера, Фарадея, Ленца, Грина, Вебера, Неймана, Кирхгофа, Томсона, Гельмгольца и др.), так и итоги своих собственных исследований.

Понятно, что этот труд стал настольной книгой для всякого, занимающегося электричеством. Однако труд Максвелла, несмотря на все усилия автора выполнить задачу, сформулированную им в его «Предисловии»: перевести идеи Фарадея на язык математики, оставался по выражению Больцмана «книгой за семью печатями» для профессионалов физиков. Причина этого обстоятельства заключалась безусловно в глубине и новизне идей Максвелла, но справедливо также и то, что Максвелл уделил в «Трактате» обоснованию и развитию этих идей значительно меньше места, чем в своих предыдущих работах.

С другой стороны, Максвелл в своем «Трактате» стремился последовательно провести концепцию близкодействия и противопоставить ее господствующим формальным теориям далекодействия, и эту задачу он безусловно разрешил.

«Трактат» разбит на два тома и четыре части. Первый том состоит из двух частей: «Электростатика» и «Электрокинематика» (т. е. учения о постоянном токе). Вторым том содержит также две части: третью часть трактата «Магнетизм», содержащую восемь глав, и последнюю, четвертую, часть, посвященную электромагнетизму и содержащую двенадцать три главы.

Всем этим четырем частям предпосланы «Предисловие» и вводная глава, содержащая учение о размерностях, измерениях и основы векторного анализа. В настоящем издании переведены главы, представляющие наиболее существенное принципиальное значение. Это, во-первых, «Предисловие» и затем главы I,