

В.К. Аркадьев

**50 лет волн Герца (сборник избранных работ
Г.Герца)**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
В11

B11 **В.К. Аркадьев**
50 лет волн Герца (сборник избранных работ Г.Герца) / В.К. Аркадьев – М.: Книга по Требованию, 2024. – 157 с.

ISBN 978-5-458-26626-0

Б 1937-1939 гг. истекает 50 лет со времени замечательных опытов Генриха Герца, имевших целью проверить теорию Максвелла, касающуюся основных законов электродинамики. В 1886-1888 гг. Герцу удалось дать ответ на поставленный Максвеллом основной вопрос о магнитном действии тока смещения в диэлектрике...

ISBN 978-5-458-26626-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

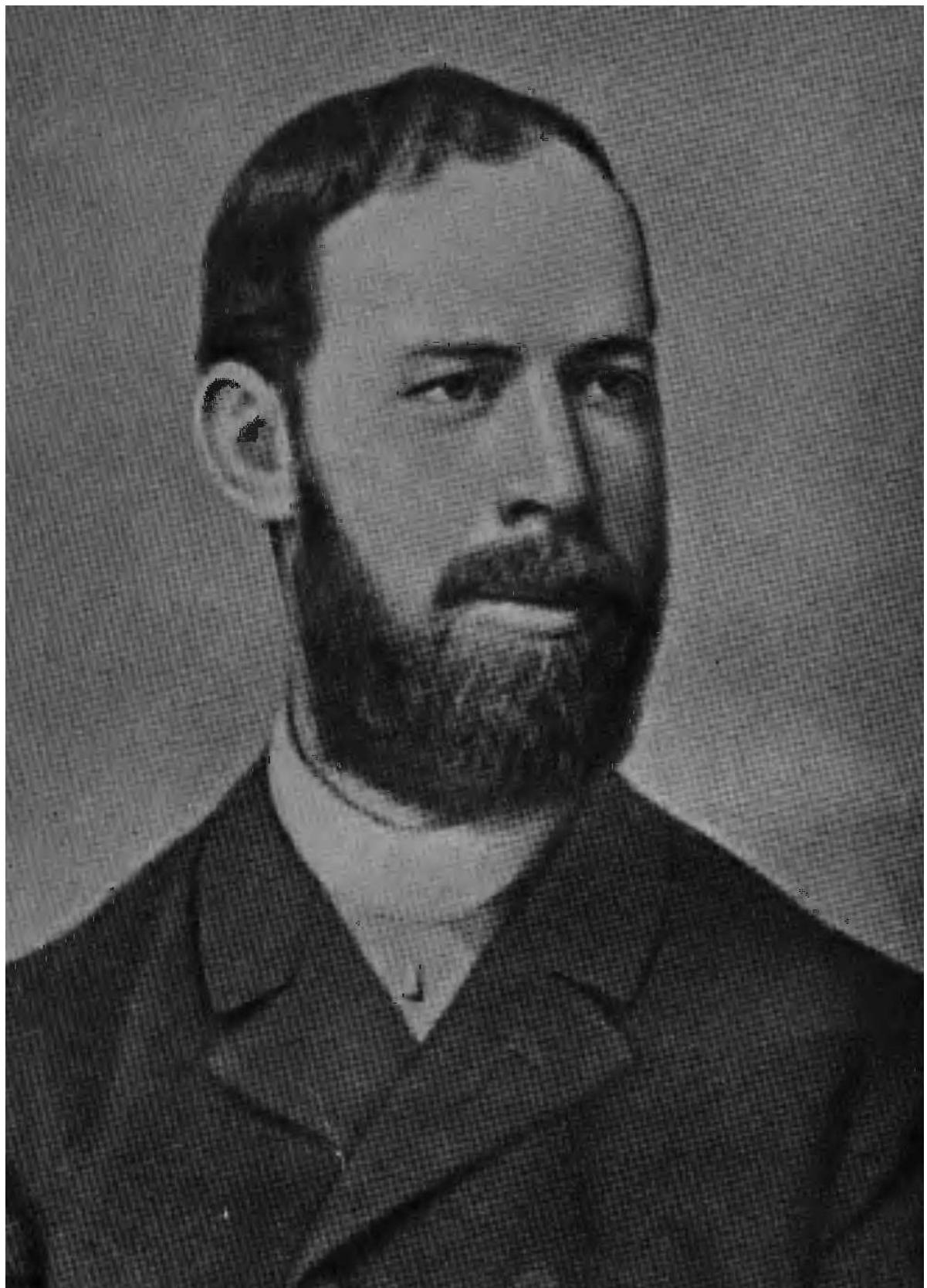
Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
<i>В. К. Аркадьев. Работы Герца, их значение и дальнейшее развитие</i>	9
<i>И. Г. Кляцкин. Генрих Герц и современная радиотехника</i>	31
<i>Генрих Герц. О весьма быстрых электрических колебаниях. W. A. 31, 421, 1887</i>	45
<i>Генрих Герц. Об электродинамических волнах в воздухе и об их отражении. W. A. 34, 610, 1888</i>	76
<i>Генрих Герц. Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла. W. A. 36, 1, 1889</i>	92
<i>Генрих Герц. О лучах электрической силы. W. A. 36, 769, 1889</i>	120
<i>Генрих Герц. О действии ультрафиолетового света на разряд электричества. W. A. 31, 983, 1887</i>	136



ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1937 – 1939 гг. истекает 50 лет со времени замечательных опытов Генриха Герца, имевший целью проверить теорию Максвелла, касающуюся основных законов электродинамики. В 1886—1888 гг. Герцу удалось дать ответ на поставленный Максвеллом основной вопрос о магнитном действии тока смещения в диэлектрике.

Как известно, эти работы Герца привели к открытию способов получения и исследования предсказанных Максвеллом электромагнитных волн. Они обнаружили конечную скорость распространения электрических и магнитных сил и доказали участие среды в этом процессе. Работы Герца тем самым послужили еще одним физическим обоснованием правильности материалистического мировоззрения и дали в руки ученых-материалистов новое оружие против идеалистических взглядов в науке. Владимир Ильич Ленин в своем труде „Материализм и эмпириокритицизм“ писал: „...Герцу даже и не приходит в голову возможность нематериалистического взгляда на энергию“¹. Ленин категорически отмечал всякие попытки идеалистов всех толков „завербовать“ к себе в союзники Генриха Герца и подчеркивал значение его трудов для углубления установок диалектического материализма. Тем больший интерес и значение приобретают работы Генриха Герца и их пятидесятилетний юбилей для всего прогрессивного человечества и передовой советской науки.

В согласии с предвидениями Максвелла волны, полученные Герцем, обнаружили основные свойства световых волн; этим была подтверждена электромагнитная природа последних. На ряду с тем, что открытые Герцем волны явились мощным толчком к развитию учения Максвелла об электромагнитном поле, это открытие имело и самодовлеющее огромное значение. Под именем радиоволн волны Герца теперь вошли в наш быт; они сами и их многочисленные применения теперь широко известны.

Джозеф Джон Томсон² характеризует открытие Герца и его исследования как изумительный триумф экспериментального мастерства, изобретательности и вместе с тем как образец осторожности в выводе заключений. Открытие электрических волн, говорит он, имело не только научное значение, оно побуждало к активной

¹ В. И. Ленин. Собр. сочин. т. XIII, стр. 233, 2-е изд. 1931 г.

² James Clark Maxwell. A commemoration volume. 1831—1931. Essays by J. J. Thomson, Planck, Einstein a. oth., p. 43. Cambridge, Univers. Press, 1931.

деятельности в новых, до тех пор неизвестных направлениях. Подобно открытию Фарадеем электромагнитной индукции, оно имело глубокое влияние на цивилизацию. Открытие Герца само толкало на путь к нахождению способов, позволяющих людям, живущим в разных частях света, без труда слышать друг друга. Это открытие таит в себе возможности социального, воспитательного и политического порядка, которые мы еще только начали реализовать.

Значение открытия Герца чрезвычайно велико для нашей огромной социалистической страны, где открытые Герцем электромагнитные волны стали могучим средством укрепления братского союза народов СССР, их культурного и экономического развития.

В настоящем сборнике, посвященном 50-летию открытия герцевых волн, воспроизводится перевод пяти основных работ Герца из числа 14, входящих в собрание его работ,данное впервые в 1892 г. под названием „Исследования о распространении электрической силы“. Впоследствии это собрание составило второй том издания „Gesammelte Werke von Heinrich Hertz“, заключающего в себе три тома.

Перевод статей Герца выполнен Н. Н. Маловым по полному собранию сочинений Герца, вышедшему вторым изданием в 1894 г.¹ При переводе по возможности были сохранены выражения подлинника, иногда существенно отличающиеся от современной терминологии. В тех случаях, когда это представлялось необходимым, даны пояснения в примечаниях.

Некоторые высказывания Герца, являющиеся с современной точки зрения не вполне верными, сохранены без исправлений и даже без пояснений, так как читатель легко заметит эти неправильности, а подробный разбор их в примечаниях мог бы нарушить цельность впечатления, получающегося от чтения работ Герца.

Статьи „О весьма быстрых электрических колебаниях“ и „О действии ультрафиолетового света на разряд электричества“ печа-таются по переводу, выполненному И. Мчедловым, впервые опубликованному в 1910 и 1911 гг.² и теперь вновь отредактированному; статья „О лучах электрической силы“ напечатана в журнале „Успехи физических наук“ и воспроизводится здесь с согласия редакции журнала. Остальные статьи, насколько нам известно, появляются на русском языке впервые.

¹ H. Hertz. Gesammelte Werke, 2. Verlag J. A. Barth. Leipzig, 1894.

² В сборниках „Электромагнитные колебания и волны“, выходивших под редакцией В. К. Лебединского.

В. К. АРКАДЬЕВ

РАБОТЫ ГЕРЦА, ИХ ЗНАЧЕНИЕ И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ

Работы Герца. Теория Максвелла. Первые работы Герца. Открытие электромагнитных волн. Уравнение плоской волны. Измерение скорости распространения и изучение других свойств электромагнитных волн. *Влияние работ Герца на развитие теории Максвелла.* Сближение границ на скале волн. Оптика электрических колебаний. Методика фотографирования, перенесенная в область герцевых волн. Световое давление. Спектры вещества в световых и герцевых лучах. Расширение теории Максвелла. Теория дисперсии света. Спектральные свойства металлов. Теория дисперсий в магнитных металлах. Общая электромагнитная спектроскопия.

РАБОТЫ ГЕРЦА

Теория Максвелла. В 1864 г. Джемс Клерк Максвелл опубликовал, свою электродинамическую теорию электромагнитного поля [1], в которой в виде дифференциальных уравнений были сформулированы взгляды Фарадея на электромагнитные процессы в эфире и во всякой другой среде.

В упрощенном виде можно на следующей схеме истолковать смысл основных уравнений Максвелла для неподвижных тел. На фиг. 1 представлено цилиндрическое тело, имеющее удельную электропроводность γ . По проводам $+$ и $-$ через цилиндр проходит ток I ; при достаточной длине цилиндра, на расстоянии R от его оси, как около прямой проволоки, ток создает магнитное поле напряженности H , которое согласно закону Био и Савара равно

$$H = \frac{2I}{R} = \frac{2S}{R} j_e.$$

Здесь j_e — плотность электрического тока в сечении цилиндра S . В случае проводника

$$j_e = \gamma E,$$

где E — напряженность электрического поля в цилиндре; поэтому около проводящего цилиндра]

$$H = \frac{2S}{R} \gamma E.$$

Для диэлектрика $\gamma = 0$ и в постоянном поле $j_e = 0$. Максвелл утверждал, что при переменном поле в диэлектрике $j_e \neq 0$. Согласно утверждению Максвелла, при переменном поле и в диэлектрике течет ток; это ток смещения, плотность которого

$$j_e = \frac{\epsilon_m}{4\pi} \cdot \frac{dE}{dt},$$

где ϵ_m — диэлектрический коэффициент (электрическая проницаемость) диэлектрика в электромагнитных единицах CGS; $\epsilon_m = \frac{\epsilon}{v^2}$, где ϵ — относительный диэлектрический коэффициент, а $v = 2.998 \cdot 10^{10} \approx 3 \cdot 10^{10}$ см/сек есть отношение электромагнитной единицы количества электричества к его электростатической единице.

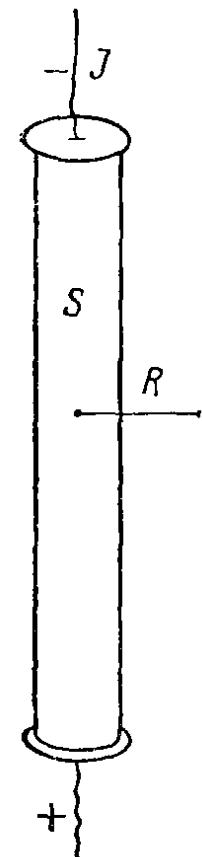
Если $j_e \neq 0$, то, по Максвеллу, около диэлектрического цилиндра должно быть такое же магнитное поле, как и около проводящего цилиндра:

$$(1) \quad H = \frac{2S}{R} \cdot \frac{\epsilon_m}{4\pi} \cdot \frac{dE}{dt}.$$

Фиг. 1. Магнитное поле прямого электрического тока (к первому уравнению Максвелла)

Величина магнитного поля обусловлена скоростью изменения электрического поля и, следовательно, скоростью изменения поляризации. Но изменение магнитного поля может вызвать электрическое поле и электрическую поляризацию среды.

Действительно, пусть поле H вызывает в магнитном цилиндре (фиг. 2) магнитный поток $\Phi = \mu HS$, где μ — магнитная проницаемость



цилиндра. Тогда в некотором контуре C при изменении H будет возникать эдс

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi}{dt} = - \mu S \frac{dH}{dt}.$$

На расстоянии R от оси цилиндра возникает электрическое поле

$$(2) \quad E = \frac{\mathcal{E}}{2\pi R} = - \frac{2S}{R} \cdot \frac{\mu}{4\pi} \cdot \frac{dH}{dt}.$$

Как видим, выражение (2) для электрического поля аналогично выражению (1) для магнитного поля.

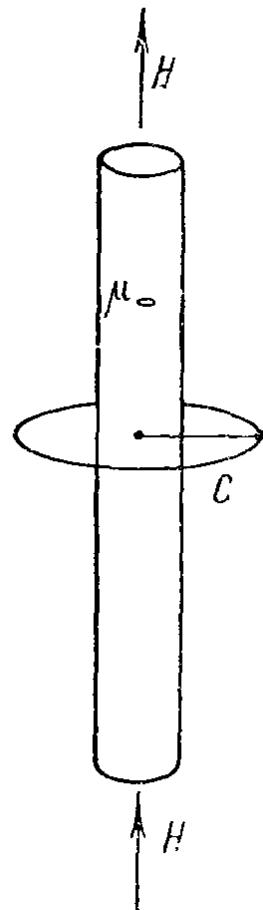
Первые работы Герца. В 1879 г. Берлинская академия наук объявила премию за экспериментальное доказательство существования магнитного поля, представленного уравнением (1), и диэлектрической поляризации, вызванной изменением магнитного поля, согласно (2).

Гельмгольц указал на эту проблему Герцу, который взялся за ее решение. Внимание Герца было обращено на наиболее быстрые электрические процессы, так как из (1) и (2) мы видим, что H и E будут тем больше, чем быстрее меняется электрическое поле E или магнитное H .

Вычислим по (1) поле на расстоянии 6 см от оси стеклянной колонки диаметром $2r = 10$ см; пусть при высоте ее 100 см на нее наложено напряжение $\Delta\mathcal{E} = 20$ кВ. Примем диэлектрический коэффициент стекла в электромагнитных единицах равным $\frac{6}{9 \cdot 10^{20}}$. Произведя подстановку, при $\Delta t = 10^{-6}$ получим:

$$H = \frac{2\pi \cdot 25 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 10^8}{6 \cdot 4\pi \cdot 9 \cdot 10^{20} \cdot 10^{-6} \cdot 100} = \frac{5}{18} \cdot 10^{-3} \text{ Ое.}$$

Вычислим далее по (2) электрическое поле около цилиндра того же размера из железных проволок (напр., сердечник большого индуктория); при $\Delta H = 100$ Ое и $\Delta t = 10^{-3}$ сек., при-



Фиг. 2. Электрическое поле прямого магнитного тока (ко второму уравнению Максвелла)

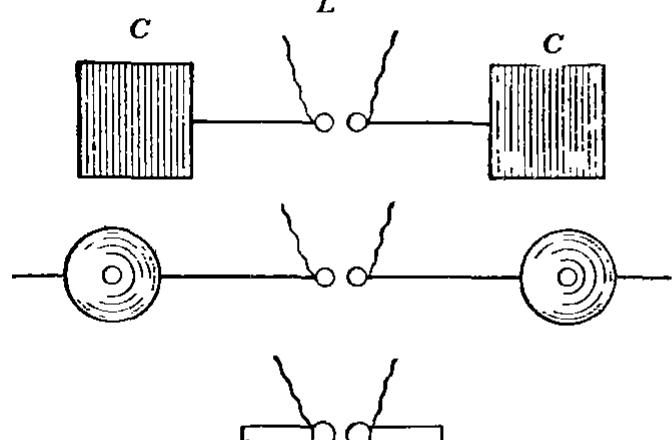
нимая за μ цилиндра его проницаемость тела [2] $\mu_\infty = 60$, получим:

$$E = \frac{2 \cdot \pi \cdot 25 \cdot 60 \cdot 100}{6 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-3}} \cdot 10^{-8} = 0.12 \text{ V/cm.}$$

Таким образом, при частоте порядка 10^6 в первом случае мы можем рассчитывать на напряженность магнитного поля порядка сотых долей земного поля; во втором случае получается электрическое поле порядка десятых долей вольта на 1 см. Понятно, что при средствах экспериментирования, имевшихся в 80-х годах прошлого века, нельзя было надеяться, чтобы такие поля вызвали заметное действие. Поэтому внимание Герца было направлено к получению возможно больших значений $\frac{dE}{dt}$ и $\frac{dH}{dt}$, чем те, которые

получались при наиболее быстром из известных тогда электрических процессов (колебания Феддерсена, [3]).

В своей работе „О весьма быстрых электрических колебаниях“ (стр. 69) Герц описывает приемы, которые дают возможность иметь колебания в сто раз более быстрые, чем колебания Феддерсена, имевшие порядок



Фиг. 3. Развличные виды вибратора Герца

10^{-6} сек. Исходя из формулы Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$, Герц нашел способ получать такие колебания при помощи небольших проводников с малой емкостью и индуктивностью; они имели вид коротких кусков проволоки или стержней (вибраторов), длиной в несколько дециметров, иногда с присоединенными шарами или пластинками на концах (фиг. 3).

В частности, чтобы усилить электродинамическое действие диэлектрического цилиндра, представленного на фиг. 1, Герц пробовал достигнуть быстрого изменения поля пластин, приложенных к его основаниям, тем, что эти пластины сами составляли части упомянутого вибратора (фиг. 4).

В таком случае частота могла достигать 10^8 периодов в секунду, или, как мы теперь говорим, 10^8 герцев.

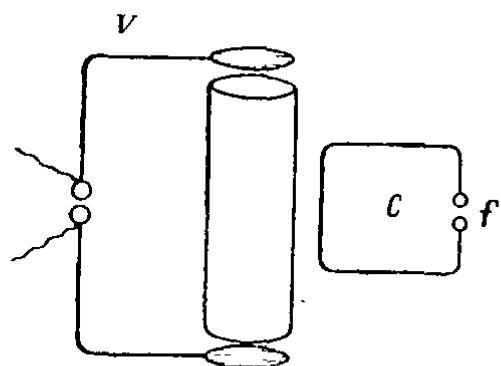
Согласно (1), магнитное поле около цилиндра должно быть соответственно сильнее. Однако Герц убедился, что действие диэлектрика на контур C не исчерпывается одним магнитным полем цилиндра H . На контур влияет также и электрическое поле вибратора V , которое, как указывал Герц, не являясь во время его действия полем потенциальным, содействует появлению в нем электрических колебаний; о возникновении колебаний можно судить по искрам в промежутке f .

В дневнике Герца [4] под датой 5 ноября 1887 г. значится: „закончил работы об индукционном действии изоляторов и отоспал Гельмгольцу“. В письме с той же датой он пишет Гельмгольцу: „...Я не мог не послать Вам этой работы, так как в ней излагается предмет, к рассмотрению которого Вы [меня] побудили [несколько лет тому назад. Я постоянно имел в виду эту задачу] и наконец нашел путь к ее разрешению, который должен был дать ясный результат. Вероятно, я не ошибаюсь, считая, что настоящие опыты достаточно убедительны. Я думаю, что примененные здесь электрические колебания могут быть весьма полезны для электродинамики незамкнутых токов. Я уже успел сделать несколько дальнейших шагов“. 9 ноября жена Герца пишет его родителям, что Гельмгольц ответил открыткой: „Рукопись получена. Браво! В четверг пошлю в печать. Г. ф. Гтц.“

Открытие электромагнитных волн. Рассматривая происходящий около диэлектрика (фиг. 3) сложный процесс развития динамических полей, Герц дал подробную картину происхождения и движения в пространстве электромагнитных волн [5].

По второй работе, приведенной в настоящем сборнике (стр. 76), „Об электродинамических волнах в воздухе и об их отражении“, Герц дает блестящее доказательство существования электромагнитных волн, испускаемых открытыми им электрическими вибраторами.

Существование этих волн вытекает из уравнений Максвелла для электромагнитного поля, которые были нами иллюстрированы выражениями (1) и (2). Полагая в них $R = r$ и умножая обе части



Фиг. 4. Исследование электродинамического действия диэлектрического цилиндра

их на $2\pi r$, мы получим линейный интеграл магнитного и соответственно электрического полей. Очевидно, это — не что иное, как магнитодвижущая или электродвижущая сила, действующая в контуре вокруг цилиндра. Деля ее на площадь S , получим то, что называется вихрем этих полей.

В векторной транскрипции они обозначаются $\text{rot } \bar{H}$ и соответственно $\text{rot } \bar{E}$. Таким образом, в электромагнитных единицах:

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_m \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} = \text{rot } \bar{H}, \\ -\mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} = \text{rot } \bar{E}. \end{array} \right.$$

Герц писал эти уравнения в развернутом виде, при этом для компонент L , M и N поля H в электромагнитных единицах, а для компонент X , Y и Z поля E в электростатических единицах.¹ Он решает эти уравнения для поля вибратора, как точечного диполя, периодически меняющего свой электрический момент. Для разных азимутов и на разных расстояниях от вибратора он получает различные формы выражения электрического и магнитного полей. Для этого он пользуется хорошо теперь известной „функцией Герца“ Π , которая Абрагамом позже была обобщена и названа „вектором Герца“². Функция Герца облегчает вычисление поля сферических волн, исходящих из вибратора.

Уравнение плоской волны. На больших расстояниях от вибратора, т. е. в случае плоских волн, если они распространяются в направлении оси x и имеют электрический вектор, направленный по y , а магнитный, направленный по z , аналогично уравнениям (2) и (1) мы получим для однородной изотропной среды с произвольными ε_m и μ :

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_m \frac{\partial Y}{\partial t} = -\frac{\partial N}{\partial x}, \\ \mu \frac{\partial N}{\partial t} = -\frac{\partial Y}{\partial x}. \end{array} \right.$$

¹ См. помещенную в этом сборнике статью „Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвела“, стр. 94.

² О векторе Герца см., напр., Б. А. Введенский. Основы теории распространения радиоволн. М. — Л., 1934.