

1813



ТЕЛЕГРАФИЯ И ТЕЛЕФОНИЯ

БЕЗ

ПРОВОДОВ

Номер 5-й. Сентябрь 1919. Н.-Новгород.

Печатается при Нижегородской Радиолaborатории.

А.с.р. 60(3)

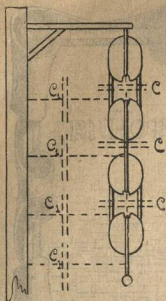
К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ИЗОЛЯТОРНЫХ ПОДВЕСОК для радиотелеграфных сетей.

Н. Н. Луценко.

Доложено на заседании РОРИ 20 августа 1919 г.

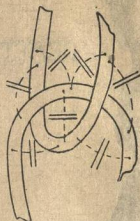
В нижеследующей статье рассматривается вопрос о расчете изоляторных подвесок, составленных из отдельных изоляторов, скрепленных между собой металлическими тросами. Такие подвески находят применение как в линиях высокого напряжения, так равно и в радиотелеграфных сетях, где они служат для подвески или для оттягивания проводов (см. черт. 1). Однако, как мы увидим ниже, основания для расчета в том и другом случае совершенно различные.

Каждая подвеска может быть рассматриваема, как совокупность ряда конденсаторов, из которых одни представляют емкость одного троса относительно другого (см. черт. 2), а другие — емкость каждого троса в отдельности по отношению к той мачте, на которой прикреплена подвеска, или как мы будем считать, по отношению к земле, в предположении, что мачта вполне заземлена.



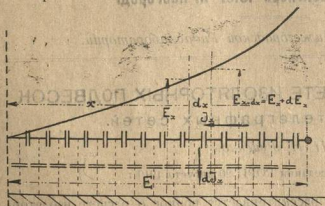
Черт. 1.

Для расчета электрической крепости необходимо знать как емкость отдельного изолятора первого рода — C , так и емкость каждого троса относительно земли — C_1 . Определение и той и другой емкости может быть произведено любым из способов, пригодных для определения емкости; следует только принять во внимание, что емкости C и C_1 очень малы и для радиотелеграфных типов изоляторов лежат в пределах от 1 до 15 см. Поэтому измерить емкость одного изолятора затруднительно и лучше



Черт. 2.

всего применять их параллельное соединение, в предположении, что емкости отдельных изоляторов одинаковы. Определение емкости должно быть произведено, примерно при тех-же частотах, при которых будут работать изоляторы.



Черт. 3.

Рассмотрим распределение напряжения на подвеске, составленной из большого числа отдельных изоляторов (см. черт. 3). На чертеже 3 представлена электрическая схема такой подвески.

Принимая начало координат в месте присоединения подвески к мачте, положим, что распределение полного напряжения

E между отдельными изоляторами представится пока еще неизвестной функцией числа их x . Считая I_x постоянным на малом промежутке dx , мы можем написать:

$$E_x + dE_x - E_x = -I_x \cdot \frac{1}{\omega C} \cdot dx. \quad (1)$$

Здесь $\frac{dx}{\omega C}$ представляет сопротивление емкости изоляторов друг относительно друга на длине подвески, на которой находится dx изоляторов. Правая часть написана со знаком минус, потому что ток направлен в сторону отрицательных абсцисс.

Из выражения (1) следует:

$$\frac{dE_x}{dx} = -I_x \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

Таким же образом рассуждая, можно написать, что

$$-(I_x + dI_x - I_x) = +\omega C_1 \cdot E_x dx$$

или

$$\frac{dI_x}{dx} = -\omega C_1 \cdot E_x \quad (3)$$

Дифференцируя первое уравнение и подставляя значение $\frac{dI_x}{dx}$ из второго, получим:

$$\frac{d^2 E_x}{dx^2} = E_x \cdot \frac{C_1}{C} = E_x \cdot \alpha^2, \quad (4)$$

где

$$\alpha = \sqrt{\frac{C_1}{C}} \quad (5)$$

Полученное дифференциальное уравнение интегрируется в виде:

$$E_x = C_1 e^{\alpha_1 x} + C_2 e^{\alpha_2 x}, \quad (6)$$

где e основание натуральных логарифмов, а α_1 и α_2 суть корни уравнения

$$k^2 - \alpha^2 = 0,$$

из которого можно определить

$$k_1 = +\alpha, \quad k_2 = -\alpha. \quad (7)$$

Постоянные C_1 и C_2 легко определяются из пограничных условий:

$$\text{при } x=0; E_x=0; C_1 + C_2=0; C_1 = -C_2;$$

$$\text{при } x=n; E_x=E; C_1 = -C_2 = \frac{E}{e^{\alpha n} - e^{-\alpha n}}$$

В окончательном виде уравнение (6) принимает следующую форму:

$$E_x = E \cdot \frac{e^{\alpha x} - e^{-\alpha x}}{e^{\alpha n} - e^{-\alpha n}} = E \cdot \frac{\text{Sh } \alpha x}{\text{Sh } \alpha n} \quad (8)$$

В этом выражении $\sin h$ означает гиперболический синус, значения которого для разных x можно найти хотя бы в справочной книге Хютте.

Таким образом, из уравнения (8) можно найти напряжение любого места подвески относительно земли.

Для того, чтобы определить напряжение, при котором придется работать отдельному любому изолятору, надо при большом числе изоляторов, взять производную от E_x по x . Обозначив рабочее напряжение x -того изолятора через $(E_k)_x$, найдем, что:

$$(E_k)_x = \frac{dE_x}{dx} = \alpha \cdot E \cdot \frac{\cosh \alpha x}{\sinh \alpha n} \quad (9)$$

Здесь $\cosh$ означает гиперболический косинус.

Из выражения (9) мы можем сделать следующие выводы.

1) Напряжение между изоляторами распределяется неравномерно. Эта неравномерность зависит от α , т. е. от отношения $\frac{C_1}{C}$. Чем больше это отношение, тем неравномернее распределение напряжения. Поэтому выгоднее делать возможно короче тросы, соединяющие отдельные изоляторы, и помещать подвески подальше от мачты.

2) Вследствие неравномерного распределения пробивное напряжение подвески E возрастает непропорционально числу изоляторов, а несколько медленнее.

3) Наиболее напряженным (электрически) является первый от провода изолятор (n -ый от мачты). Так как обычно подвески собирают из изоляторов одного типа, то n -ый изолятор (первый от провода) и является расчетным.

Напряжение, приходящееся на него, равно:

$$(E_k)_n = \alpha \cdot E \cdot \frac{\cosh \alpha n}{\sinh \alpha n} \quad (10)$$

Все вышевыведенные уравнения были получены в предположении, что число изоляторов подвески очень велико. Поэтому при конечном числе изоляторов эти формулы будут только приближенными. Однако Рюденберг показал (Rüdenberg, E. T. Z. 1914, 412), что и в случае конечного числа изоляторов выведенные формулы будут достаточно точны.

Весьма просто решаются все вопросы, связанные с расчетом изоляторных подвесок, графически. Для решения этого вопроса вычерчиваем кривую $\sinh \alpha x = \varphi(x)$, т. е. по оси абсцисс (черт. 4) откладываем $x = 1, 2, 3$ и т. д., а по оси ординат — соответственные значения $\sinh \alpha$, $\sinh 2\alpha$ и т. д., находя эти значения для какого-нибудь определенного угла α из таблиц. Полученные кривые в определенном масштабе, который легко определить для каждого частного случая, изображают распределение напряжения вдоль

подвески. Так как

$$E_x = E \cdot \frac{\sin h \alpha x}{\sin h \alpha n} \quad (\text{уравнение 8}),$$

или

$$E_x = \text{Const.} \sin h \alpha x,$$

то отрезки между кривыми и осью абсцисс будут изображать напряжение данного изолятора относительно земли.

Проведя через $x=k$ и $x=k-1$ вертикали, найдем напряжения относительно земли для k -ого и $(k-1)$ -ого изолятора. Отсюда следует, что напряжение, между тросами k -ого изолятора будет равно:

$$E_k - E_{k-1} = AB = (E_k)_x.$$

Для каждого изолятора находим отношение $b = \left[\frac{E_k}{AB} \right]_x$, т. е. отношение напряжения изолятора относительно земли к напряжению, приходящемуся на

данный изолятор, и откладываем его по вертикали вверх от соответствующего № изолятора и таким образом получаем кривую $b = f(x)$. Такие кривые будут различны для разных α . Нанеся для нескольких α сеть таких кривых, мы получаем возможность весьма быстро разрешать различные вопросы, связанные с расчетом изоляторных подвесок. В этих кривых, нанесенных на чертеже 5, отношение α взято от $\alpha = 0$ до $\alpha = 0,6$.

Покажем, как решать с помощью такой сети ряд задач по расчету подвесок.

А) Допускаемое напряжение для каждого изолятора e ; α известно; сколько необходимо изоляторов, чтобы подвеска выдержала E вольт?

Находим отношение $E:e = b$; через полученное b проводим горизонталь до пересечения с линией соответственного α и вертикаль вниз и находим в пересечении с осью абсцисс искомое число изоляторов.

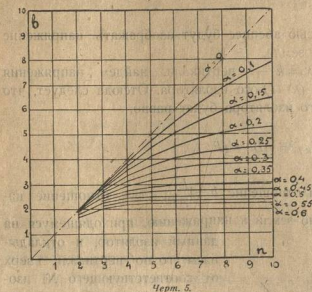
Пример 1: $e = 10000$ вольт; $E = 50000$ в.; $\alpha = 0,15$.

Определим число изоляторов подвески.

$b = \frac{50000}{10000} = 5$; проводя соответственные линии (см. черт. 5), находим, что необходимое число изоляторов равно шести.

Пример II: $e = 10000$ в.; $E = 40000$ в.; $\alpha = 0,5$; $b = \frac{40000}{10000} = 4$; про-

водя соответственную вертикаль, видим, что она не пересекает линии, соответствующей $\alpha = 0,5$. Это значит, что с изоляторами данной конструкции невозможно построить подвески, которая была бы в состоянии выдержать 40000 вольт.



Черт. 5.

подвеска выдерживает только 53040 вольт.

Если бы мы взяли вместо 9—десять изоляторов, то подвеска могла бы выдержать только 53400 вольт; отсюда мы видим, что для каждой подвески настает такой момент, когда дальнейшее увеличение числа изоляторов не влечет за собой увеличения электрической крепости подвески.

Все вышевыведенные заключения будут справедливы до тех пор, пока α сохраняет постоянное значение. Непосредственный опыт показывает, однако, что при повышении напряжения, α не остается постоянным, а изменяет свою величину.

Если к подвеске приложить некоторое напряжение и постоянно повышать его до пробивания подвески, то при этом наблюдается следующая картина: начиная с некоторого напряжения из тросов по направлению к фарфору начинают выходить тонкие, фиолетово-синие искры; этот момент называется началом тихого разряда (свечение, *Sprühen*). Для радиотелеграфных подвесок именно это напряжение, при котором начинается тихий разряд, должно считаться расчетным, потому что наличие свечения служит причиной потерь и увеличивает декремент затухания антенны.

До этого момента коэффициент α можно считать постоянным.

При дальнейшем увеличении напряжения фиолетовые искры увеличиваются и начинают огибать изолятор по фарфору, стремясь от одного троса к другому. Увеличиваясь еще более при дальнейшем повышении напряжения, искры сливаются в сплошное сияние по поверхности изолятора и, наконец, следует пробивание подвески. Произведенные автором испытания разных

В) Какое напряжение может выдержать подвеска из n изоляторов, если каждый из них выдерживает e вольт и α известно?

Из точки $x = n$ проводим вертикаль до пересечения с линией соответствующего α и определяем искомое b , откуда находим $E = b \cdot e$.

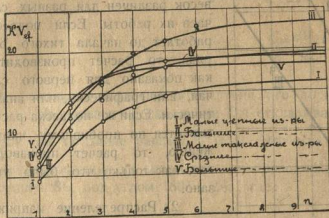
Пример: $n = 9$; $e = 12000$; $\alpha = 0,25$. Находим $b = 4,42$, откуда $E = 12000 \times 4,42 = 53040$ вольт.

Таким образом мы видим, что вместо 108000 вольт неравномерное распределение напряжения приводит к тому, что под-

типов и размеров радиотелеграфных подвесок, показали, что за редкими исключениями, да и то в случае недоброкачества материала, пробивание подвески и отдельных изоляторов происходит исключительно по поверхности изолятора, от одного троса к другому.

Нет никакого сомнения, что появление свечения вокруг изолятора изменяет как емкость C_1 , так и емкость C , и, стало быть, изменяет и величину α , но в какую сторону изменяется α , теоретически предсказать трудно. Опыт показывал, (см. ниже) что при повышении напряжения во всех испытанных типах изоляторов и подвесок α уменьшалось и иногда довольно значительно.

Таким образом из вышеизложенного следует, что расчет подвески будет различен, смотря по тому, будет ли допускаемое напряжение ниже критического, при котором начинается тихий разряд, или выше его. В первом случае, который должен иметь место в радиотелеграфных сетях, остается в силе расчет, приведенный выше; в противном же случае, могущем иметь место в технике высокого напряжения, расчет должно производить, исходя из других принципов.



Черт. 6.

Принимая во внимание сравнительно малую точность определения напряжения, (с помощью искромера) надо считать, что совпадение расчетных чисел с теоретическими получается достаточно близким.

На черт. 7 приведены кривые пробивного напряжения для различных (тех-же, что и на черт. 6) подвесок. Из этих кривых видно, что протекание кривой совершенно иное, чем для случая начала тихого разряда. Для случая пробивного напряжения зависимость напряжения, пробивающего подвеску, от числа изоляторов выражается достаточно точно уравнением:

$$E = a + bx.$$

Для некоторых типов изоляторов величина a может быть равна нулю, для других a больше нуля.

Коэффициенты a и b можно определить, если определено пробивное напряжение для одного изолятора и для подвески из двух изоляторов. Так,

На черт. 6 приведены кривые, полученные для начала тихого разряда для разных типов подвесок. Сплошные кривые построены с помощью расчета, исходя из чисел, которые были получены для одного изолятора и из заранее определенной непосредственным измерением величины α . Кружками обозначены точки, полученные из опыта. При-

например, для малых цепных изоляторов, оказалось из опыта, что $E_1 = 30000$ вольт и $E_2 = 50000$ вольт. Отсюда определяем:

$$a = \frac{50000 - 30000}{2} = \frac{E_2 - E_1}{2} = 10000$$

$$b = 50000 - 30000 = E_2 - E_1 = 20000,$$

а, следовательно, $E = 10000 + 20000 \cdot x$.

Для $n = 5$, $E = 10000 + 20000 \cdot 110000$;

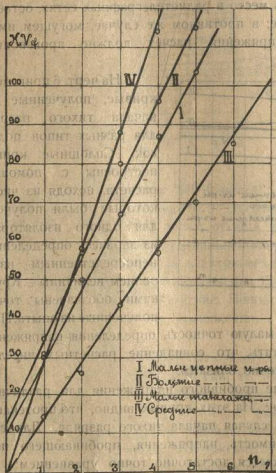
из опыта оказалось, что $E_5 = 104000$ вольт.

Из всего того, о чем говорилось выше, можно сделать следующие выводы:

1) Расчет изоляторных подвесок различен для разных случаев их работы. Если подвеска работает до начала тихого разряда, то расчет производится, как показано для первого случая, или графически, или аналитически. Если же подвеска рассчитывается по пробивному напряжению, то расчет производят так, как только что было указано.

2) Распределение напряжения между изоляторами неравномерно; неравномерность эта выравнивается после начала тихого разряда и почти уничтожается к моменту пробивания подвески.

3) Если при расчете подвески исходить из напряжения тихого разряда, то увеличение числа изоляторов выше известного предела становится бесполезно, так как увеличению веса подвески не сопутствует увеличение



Черт. 8.

чение выдерживаемого подвеской напряжения.

4) Наиболее целесообразная конструкция изоляторов, с точки зрения электрической крепости, та, при которой получается наименьшее α , т. е. C_1/C .

Ноябрь, 1918.

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ.

Доложено в заседании РОРИ 14-го июля 1918 года.

Проф. А. Петровского.

1. В № 2 журнала ¹⁾ напечатано мое исследование колебаний в проводниках при наличии излучения. В настоящем кратком очерке я имею в виду дать наглядную иллюстрацию таких колебаний, представив весь процесс при помощи векториальной диаграммы.

Основания построения векториальной диаграммы для колебательных токов излагались мною неоднократно ²⁾, а потому, предполагая их известными, я приступаю прямо к поставленной задаче, а именно, применю этот метод к изображению пары дф. уравнений ³⁾:

$$V_k = \frac{R_m}{k} i_k + \frac{L_m}{k} \frac{di_k}{dt} - \frac{S_m}{k} \frac{d^2 i_k}{dt^2} \quad (1)$$

$$i_k = - \frac{C_m}{k} \frac{dV_k}{dt}, \quad (2)$$

выражающих колебания в оберitone k -го порядка.

На горизонтальной линии OA откладываем вправо от точки O отрезок OB , по длине равный $\frac{R_m}{k} (i_o)_k$. Это есть вектор, изображающий падение напряжения на сопротивлении проводника. Затем от точки B строим линию BC , под углом $180^\circ + 2\theta_k$, где:

$$tg \theta_k = \frac{\omega_k}{\omega_k} \quad (3)$$

Направление этой линии есть направление $\frac{d^2 i_k}{dt^2}$, а потому обратное направление BD будет направлением, соответствующим $-\frac{d^2 i_k}{dt^2}$; на нем откладываем от точки B отрезок BD , равный $\frac{S_m}{k} (\omega_k^2 + \omega_k^2) (i_o)_k$: это будет вектор, изображающий то напряжение, которое уравнивает эд. силу излучения. Из точки D проводим линию DE , составляющую с линией OA угол равный $90^\circ + \theta$, и откладываем отрезок DE , равный $\frac{L_m}{k} \sqrt{\omega_k^2 + \omega_k^2} (i_o)_k$: это

¹⁾ Стр. 42—62.

²⁾ Мор. 66., 1910 г., 149—163; Н. О. Б. Т., ч. I-я, изд. 2-е, пар. 12; Эл. и Маг., стр. 538—579, пар. 74.

³⁾ Т. и Т. б. пр., № 2, стр. 44, формулы (15) и (16).

будет вектор, изображающий напряжение, уравнивающее эд. силу самоиндукции. Соединив точку E с точкой O , замкнем фигуру, при чем замыкающая OE должна в силу дф. уравнения (2) изображать вектор напряжения $(V_o)_\kappa$.

Отсюда ясно, что векториальная диаграмма, изображающая колебательный процесс при наличии излучения, представляет четырехугольник, а не треугольник, как было в случае неизлучающей системы.

2. Мы уже знаем, что в некоторых весьма существенных отношениях колебательные процессы неизлучающей и излучающей систем можно считать эквивалентными. Посмотрим, как это отражается на диаграмме.

Продолжив линию ED за точку D , до пересечения с линией OA в точке F , легко убедиться¹⁾, что $\angle FBD = 2\theta$. Кроме того известно из построения векториальной диаграммы колебательного процесса (без излучения), что вектора, соответствующие сопротивлению, самоиндукции и полному напряжению, образуют следующие углы:

$$\angle FOE = 90^\circ - \theta$$

$$\angle OFE = 90^\circ - \theta$$

$$\angle OEF = 2\theta.$$

Отсюда вытекает, что треугольник OFE равнобедренный, т. е. $OE = FE$. Это есть не что иное, как *треугольник колебаний контура, эквивалентного рассматриваемой излучающей системе*.

3. Рассмотрим теперь треугольник BFD , который будем называть: *треугольник излучения*. На основании теоремы о сумме углов треугольника следует, что:

$$\angle FDB = 90^\circ - \theta,$$

иными словами, этот треугольник также равнобедренный, т. е. $BD = BF$.

Наконец, сравнивая треугольники большой и малый, видим, что они подобны, а следовательно стороны их пропорциональны, т. е. $DF : BD = OF : FE$.

4. Изложенное показывает, что контур, эквивалентный данной излучающей системе при колебаниях ее обертоном порядка k , имеет емкость

$$C'_\kappa = \frac{C_m}{k}, \quad (4)$$

¹⁾ Действительно, угол FBC должен быть по построению равен $180^\circ + 2\theta$, след., угол OBC равен 2θ , откуда следует, что и угол FBD равен 2θ .

соответствующую динамическую емкость системы; сопротивление же его R_k^1 и самоиндукция его L_k^1 больше, чем у данной излучающей системы, на некоторые величины, которые обозначим W_k и U_k , т. е. имеем:

$$L_k^1 = \frac{L_m}{k} + U_k \quad (5)$$

$$R_k^1 = \frac{R_m}{k} + W_k \quad (6)$$

Величины эквивалентных сопротивления R_k^1 и самоиндукции L_k^1 можно найти, т. к. вектор OF представляет падение напряжения на эквивалентном сопротивлении, а след. равен $R_k^1 (i_o)_k$, а вектор FE есть напряжение, уравновешивающее эквивалентную самоиндукцию, т. е. равен $L_k^1 \sqrt{\omega_k^2 + \alpha_k^2} (i_o)_k$.

Ясно, что, применяя к эквивалентному треугольнику рассуждения, изложенные в теории колебательного разряда, мы получим все элементы колебания по формулам:

$$\omega_k^2 + \alpha_k^2 = \frac{1}{C_k^1 L_k^1} \quad (7)$$

$$\alpha_k = \frac{R_k^1}{2L_k^1} \quad (8)$$

$$G_k = \sqrt{\frac{C_k^1}{L_k^1}} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} sn \Delta_k &= \sqrt{1 - \frac{(R_k^1)^2 C_k^1}{4 L_k^1}} \\ cs \Delta_k &= \frac{R_k^1}{2} \sqrt{\frac{C_k^1}{L_k^1}} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

5. Найдем теперь выражение для W_k . Падение напряжения, соответствующие этой добавке сопротивления, представляется отрезком BF , а так как $BF = BD$, то можно написать:

$$W_k (i_o)_k = \frac{S_m}{k} (\omega_k^2 + \alpha_k^2) (i_o)_k \quad (11)$$

или

$$W_k = \frac{S_m}{k} (\omega_k^2 + \alpha_k^2) \quad (12)$$

Величина W_k , т. е. приращение ваттного сопротивления, которое нужно дать контуру для того, чтобы сделать его эквивалентным данной излу-

чающей системе при установлении в ней обертона порядка k , называется *сопротивление излучения системы для рассматриваемого обертона*. Для основного тона оно выразится:

$$W_I = S_m (\omega_I^2 + \alpha_I^2). \quad (12^1)$$

6. Найдем теперь приращение самоиндукции U_κ . Падение напряжения, необходимое для уравнивания эд. силы, вызываемой этой добавочной самоиндукцией, есть отрезок FD и должно выражаться формулой $U_\kappa \sqrt{\omega_\kappa^2 + \alpha_\kappa^2} (i_o)_\kappa$. Вследствие же пропорциональности сторон большого и малого треугольников имеем:

$$\frac{U_\kappa \sqrt{\omega_\kappa^2 + \alpha_\kappa^2} (i_o)_\kappa}{\frac{S_m}{k} (\omega_\kappa^2 + \alpha_\kappa^2) (i_o)_\kappa} = \frac{R_\kappa^{-1} (i_o)_\kappa}{L_\kappa^{-1} \sqrt{\omega_\kappa^2 + \alpha_\kappa^2} (i_o)_\kappa}, \quad (13)$$

откуда

$$U_\kappa \frac{S_m R_\kappa^{-1}}{k L_\kappa^{-1}} = 2 \frac{S_m \alpha_\kappa}{k}, \quad (14)$$

а для основного тона:

$$U_I = 2 S_m \alpha_I. \quad (14^1)$$

7. Таким образом постоянные эквивалентного контура связаны с динамическими постоянными излучающего провода, соответствующими обертому k -го порядка, равенствами:

$$C_\kappa^{-1} = \frac{C_m}{k} \quad (15)$$

$$L_\kappa^{-1} = \frac{L_m}{k} + 2 \frac{S_m}{k} \alpha_\kappa = \frac{L_m + 2 S_m \alpha_\kappa}{k} \quad (16)$$

$$R_\kappa^{-1} = \frac{R_m}{k} + \frac{S_m}{k} (\omega_\kappa^2 + \alpha_\kappa^2) = \frac{R_m + S_m (\omega_\kappa^2 + \alpha_\kappa^2)}{k}. \quad (17)$$

Оба приращения пропорциональны коэффициенту излучения, но, при обычных условиях работы¹⁾, приращение самоиндукции представляет малую величину по сравнению с полной величиной самоиндукции (см. прилож. 1), тогда как приращение сопротивления может быть весьма значительно.

8. Если исключить из формул (7) и (8) величины R_κ^{-1} , C_κ^{-1} и L_κ^{-1} при помощи выражений (15), (16) и (17), то получим пару уравнений, определяющих α_κ и ω_κ ; найдя же обе указанные величины, получим и все остальные (см. прилож. 2).

¹⁾ При слабом затухании.

9. Не решая уравнения (19) в общем виде, ограничимся следующим имеющим место в практике случаем:

Угол θ_k весьма мал, что соответствует слабо затухающим колебаниям.

При этом U_k также весьма мало по сравнению с L_k , а потому в первом приближении полагаем:

$$U_k = 0 \quad (20)$$

$$L_k^{-1} = \frac{L_m}{k} \quad (21)$$

$$\omega_k^2 + \alpha_k^2 = \frac{k^2}{C_m L_m} \quad (22)$$

$$W_k = \frac{k S_m}{C_m L_m} \quad (23)$$

$$R_k^{-1} = \frac{R_m}{k} + \frac{k S_m}{C_m L_m} \quad (24)$$

$$\alpha_k = \frac{R_m}{2L_m} + \frac{k^2 S_m}{2C_m L_m^2} \quad (25)$$

$$G_k = \sqrt{\frac{C_m}{L_m}} \quad (26)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin \Delta_k &= 1 \\ \cos \Delta_k &= \frac{R_m}{2k} \sqrt{\frac{C_m}{L_m}} + \frac{k S_m}{2 L_m \sqrt{C_m L_m}} \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

и далее:

$$\tau_k = \frac{2\pi \sqrt{C_m L_m}}{k} \quad (28)$$

$$\delta_k = \frac{\pi R_m}{k} \sqrt{\frac{C_m}{L_m}} + \pi k \frac{S_m}{L_m \sqrt{C_m L_m}} \quad (29)$$

Тождество этих формул с таковыми, получаемыми при аналитическом исследовании¹⁾, можно было предвидеть. Поэтому в том случае, где получение решения в общем виде не вызывается практической необходимостью,

¹⁾ Т. и Т. 6. пр. II, № 2, стр. 55; Формулы (20^{III}) (54^{III}).

графический метод может с успехом заменить аналитический, представляя преимущество большей наглядности и легкости получения требуемых результатов.

Приложение 1-ое.

Это явствует из следующих равенств:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{OF}{2FE}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{FD}{2BF},$$

откуда по перемножении имеем:

$$\frac{FD \cdot OF}{4 \cdot FE \cdot BF} = \operatorname{tg}^2 \theta$$

или:

$$\frac{FD}{FE} = 4 \frac{BF}{OF} \operatorname{tg}^2 \theta$$

или:

$$\frac{U_k}{L_k} = \frac{4 S_m (\omega_k^2 + \alpha_k^2)}{R_m + S_m (\omega_k^2 + \alpha_k^2)} \cdot \frac{\alpha_k^2}{\omega_k^2 + \alpha_k^2}. \quad (18)$$

Ясно, что, при слабом затухании, это отношение весьма мало по сравнению с единицей.

Приложение 2-ое.

По исключении α_k для $x = \omega_k^2 + \alpha_k^2$ получается кубическое уравнение:

$$x^3 + \frac{R_m}{S_m} x^2 + k^2 \frac{L_m}{S_m^2 C_m} x - \frac{k^4}{S_m^2 C_m^2} = 0. \quad (19)$$

Легко видеть, что это уравнение имеет один действительный положительный корень, который только и годен для решения: в соответствии с этим и каждая из остальных величин получает также только одно значение.

Некоторые опыты по выяснению пригодности термо-гальванометра Дудделя для измерения силы радиотелеграфного приема.

И. Фрейман.

В связи с организацией планомерных измерений в абсолютной мере силы радиотелеграфного приема сигналов центральной московской радиостанции по всей территории России и намечением при этом в качестве измерительного прибора термогальванометра Дудделя, в радиотелеграфной лаборатории Электротехнического Института в Петрограде были произведены некоторые предварительные опыты применения этого прибора в приемных радиотелеграфных цепях и выяснения главнейших предосторожностей, которые при такого рода измерениях необходимо иметь в виду.

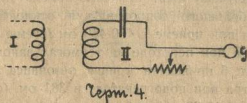
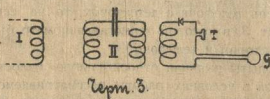
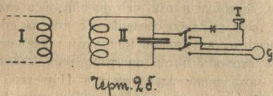
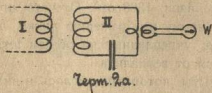
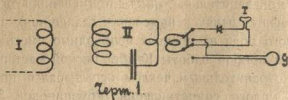
Примененный прибор работы Кембриджской мастерской за № 5418 с деревянным предохранительным чехлом испытывался при трех различных подогревателях — малого сопротивления (круппиновой 3,41 ом), среднего сопротивления (платинизированный кварц, 381 ом) и большого сопротивления (платинизированный кварц, 1300 ом). Отсчеты производились на прозрачной шкале по отраженному изображению нитки в пучке света лампы Нернста. Шкала и лампа, укрепленные на общем штативе, были установлены на расстоянии 58 см от зеркала.

Первоначальные опыты, которыми имелось в виду установить порядок чувствительности прибора в мере технически распространенного способа параллельных омов, состояли в том, что оценивалась сила приема в колебательном контуре, весьма слабо связанном с другим контуром, возбуждаемым по способу низкого напряжения (пищиком с элементом); оценка производилась с одной стороны путем шунтирования 1000-омного телефона, с другой стороны по показанию гальванометра. При этом были применены две различные схемы включения — показанная на черт. 1, в которой трансформаторно связанный с приемным контуром виток коммутировался попеременно то на цепь телефона с детектором, то на термогальванометр, и показанная на черт. 3, в которой термогальванометр был включен последовательно с детектором и телефоном.

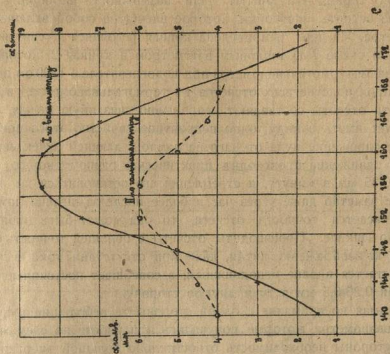
Первые же опыты выявили относительно малость чувствительности термогальванометра в условиях работы рассматриваемого случая. Именно, при подогревателе малого сопротивления отклонения порядка 5-6 мм по шкале могли быть получены лишь при силе приема около 10 ом (схема 1). При подогревателях большого сопротивления отклонения этого порядка могли быть получены при приеме в 400-450 ом (схемы 1 и 3).

Эффект резонанса при переходе на термогальванометр заметно слушевался. Так, на черт. 5 приведена кривая резонанса, составленная по показаниям гальванометра при подогревателе в 381 ом (схема 1); она, как видно, расплывается на 15-20 делений конденсатора, между тем как при приеме на слух звук окончательно исчезал в пределах 5 делений.

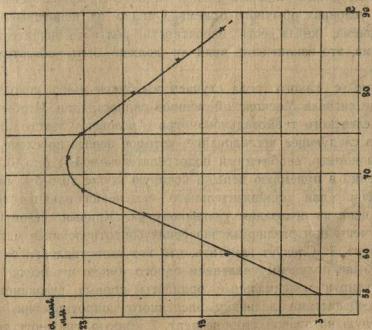
При тех же схемах включения приемной цепи была произведена вторая серия наблюдений, при которых возбуждение первичной цепи выпол-



К статье И. Фреймана.



Гр. 6.



Гр. 5.

нялось по способу высокого напряжения (от резонанс-трансформатора). Первичный контур в этом случае был расположен в соседней комнате. Подтверждая в общем данные о чувствительности установки, полученные при первой серии, эти опыты дали возможность наглядно представить уменьшение остроты настройки, которое влечет за собой включение термогальванометра. На черт. 6 приведена кривая резонанса 1, снятая обычным способом (по схеме 2-а) тепловым ваттметром и кривая 2, которая получилась по данным термогальванометра при подогревателе в 1300 ом по схеме 2-б.

При производстве всех отсчетов на термогальванометре, в особенности если эти отсчеты составляют непрерывно связанную между собой серию, следует иметь в виду одно неприятное свойство этого прибора — непрерывное сдвигание нуля от нагрева лампы, дающей пучек света для отсчета. Это сдвигание происходит практически равномерно со скоростью около 0,3-0,35 мм в минуту, и стремления его остановиться на каком-либо пределе не заметно даже через час и более после зажигания лампы.

Что касается точности отсчета, то она может быть произведена до 0,5 мм по шкале. Производить отсчеты с большей точностью не имеет смысла, т. к. изображение нитки, даже при отсутствии тока в подогревателе, не остается вполне неподвижным, а совершает постоянные качания с амплитудой 0,25-0,5 мм в ту и другую сторону.

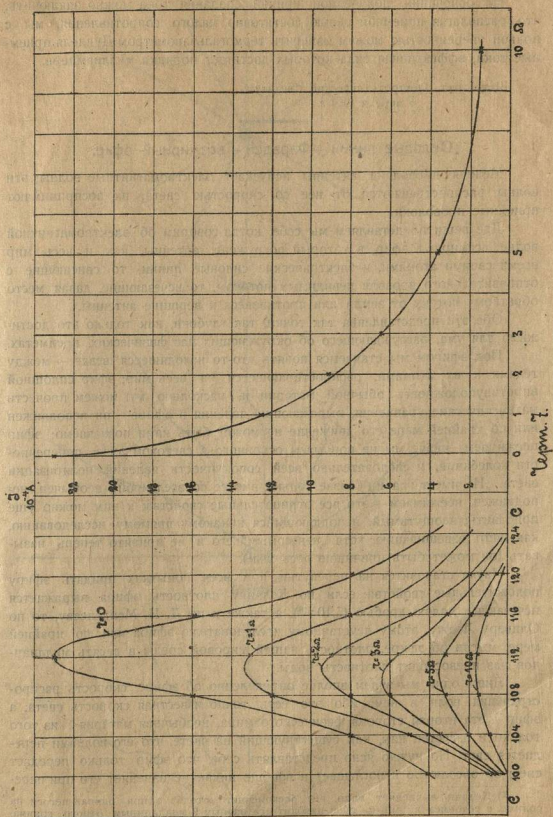
Принимая во внимание с одной стороны те небольшие пределы отклонения гальванометра, которые получались при работе по схемам 1, 2, 3, а с другой стороны необходимость относительно большой энергии в приемнике, соответствующей вообще очень высокой силе приема на слух, представляется уже на основании этих предварительных данных возможным признать, что термогальванометр Дудделя не является подходящим прибором для измерений приемного тока в радиотелеграфных установках, работающих в условиях обычного приема. Однако на некоторые специальные случаи приема, когда есть вероятность получить значительно большую силу приема, это заключение вряд ли должно быть обязательно распространено.

Именно с такого рода случаем мы будем иметь дело при приеме в Петрограде сигнала Московской мощной радиостанции. Чтобы осветить работу дудделевского термогальванометра в условиях такого приема, было поставлено следующее исследование, которое велось по схеме 4.

Гальв. нометр, снабженный подогревателем в 3,41 ома, был введен непосредственно в приемную цепь, в которую кроме того был введен магазин сопротивлений для приблизительного выяснения влияния сопротивления приемной цепи на показания гальванометра. Кривые резонанса, которые были получены при различных значениях сопротивления в магазине, приведены на черт. 7. Следует заметить, что все сопротивления за исключением $r=3$ ома были получены удалением одного только штепселя.

Проектируя максимальные ординаты кривых резонанса на прямые, имеющие абсциссами величину введенного сопротивления, мы получаем изображенную на правой стороне черт. 7 кривую спадания тока. Градуировка ординат этой кривой была произведена постоянным током по извест-

К статье Н. Фреймана.



ному приложенному напряжению.

На основании полученной кривой спада тока можно заключить, что, располагая приемной цепью достаточно малого сопротивления, мы с полной уверенностью можем измерять термогальванометром Дудделя приемные токи, эффективная сила которых достигает порядка миллиампера.

Петроград, Электротехнический Институт.

5 апреля 1919 г.

Силовые линии — Фарадей — всемирный эфир.

Медная проволока антенны испускает электромагнитные волны; эти волны распространяются от нее со скоростью света; их воспринимают приемные проволоки.

Две вещи представляем мы себе, когда говорим об электромагнитной волне: всемирный эфир, в который погружены антенны, как и весь мир всеми своими атомами, и электрические силовые линии, то свисающие с отправительного провода невидимым потоком, то исчезающие, давая место обратному потоку от земли или противовеса к вершине антенны.

Оба эти представления так тонки, так глубоки, как только это достижимо для ума, рассуждающего об окружающих нас физических предметах.

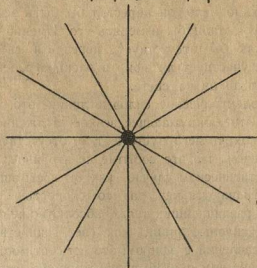
Под эфиром мы стараемся понять что-то находящееся везде — между телами и их атомами, распространяющееся на весь мир; эфир сплошной впротивуположность обычной материи и, насколько мы можем прочесть математические уравнения, выражающие явления в эфире — он неподвижен или по крайней мере его движение не может быть нами познаваемо; эфир несжимаем — иначе мы не понимаем основного в световом луче: поперечности колебаний, и следовательно всей совокупности явлений поляризации света. „Не имеет границ (разве только вместе со вселенной), необычен, неподвижен, несжимаем — это все отрицательные свойства; к ним можно еще прибавить: неосязаемый, неподдающийся никакому прямому исследованию, как напр. взвешиванию, хотя „невесомым“ его и не принято теперь называть (он может быть причиною веса тел¹).

Наука становится на перепутьи при всех попытках придать эфиру положительные свойства: если по Кельвину плотность эфира выражается исчезающе малою дробью ($5 \cdot 10^{-18}$), а также и по Д. И. Менделееву, то по Оливеру Лоджу, этому неустанному исследователю эфира или, по крайней мере, мысли об эфире, плотность нашей мировой среды в десять миллиардов раз превосходит плотность воды.

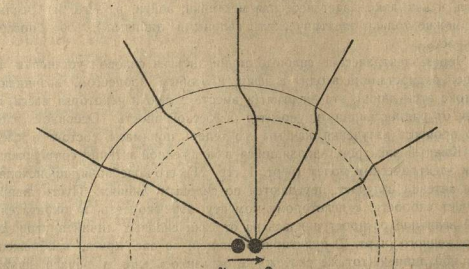
Лишь одно мы знаем вполне определенно об эфире: скорость распространения волн в нем; ибо это есть точно известная скорость света, а эфир — эта вторая сторона физического мира, необычная материя — из того только и известен нам, как существующий на свете, что его волнами передается свет. Но нужно ясно представлять себе, что эфир только передает свет; он абсолютно непоглощает и вообще никак не изменяет его при пере-

¹) Кельвин вычисляет напр. вес бесконечного столба эфира, опирающегося на солнце, с сечением в один кв см и находит его равным 9 миллионным одного грамма.

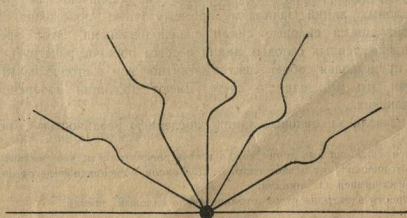
К статье: Силовые линии — Фарадей — эфир.



Черт. 1.



Черт. 2.



Черт. 3.

даче, впротивуположность всей остальной материи; если бы эфир поглощал свет, хотя бы ничтожно мало, он перестал бы быть эфиром, гипотезою; мы узнали бы про него и стали бы измерять его. Именно потому что он абсолютно об'ективен, как бы отсутствует, передавая световые сигналы, мы можем сомневаться, участвует ли эфир в распространении света, а, значит, и в том, существует ли он на свете.

Что же такое электрические силовые линии? это, по Фарадею, некоторое физическое событие, окружающее всякое заряженное тело, окружающее его и тогда, когда вокруг него пустота, т. е. отсутствует обычная материя. И мы обычно признаем, что это событие не что иное, как световая деформация в эфире (в статическом случае — как бы застывший свет), ибо силовые линии распространяются как раз со скоростью света и, испытывая поглощение во всех различнейших телах, абсолютно не поглощаются эфиром.

Электрические силовые линии, как свет, единственная связь наших тел и наших представлений с эфиром; это есть тот мост, который перекинут между обычным веществом и необычною стороною нашего мира. Никакими движениями, хотя бы больших масс и с самыми большими скоростями, нельзя ничего произвести в эфире, как показали опыты все того же О. Лоджа, и как доказывает небесная механика; войти в него из реального мира можно только электрическими силовыми линиями¹⁾; это — последняя реальность.

Через электрические силовые линии энергия силовой установки передающей радиостанции входит в эфир, и особым процессом, возникающим в потоке этих линий, эта энергия (а вместе с нею и некоторая масса) отделяется от радиостанции и уносится в бесконечность. Основным элементом этого процесса излучения, как мы его теперь понимаем, состоит в следующем: Каждый электрон, находящийся в заряженной антенне, сопровождается своим электрическим полем (черт. 1 стр. 21); его колебания, происходящие, когда антенна излучает, передаются по силовым линиям. Пусть напр. он получает скорость; к некоторому моменту эта скорость в окончательной своей величине распространилась на отрезки силовых линий внутри круга, изображенного (черт. 2) пунктирной линией; но вне круга, изображенного сплошной линией (тот же чертеж) не отразилось еще и начало движения электрона; тут силовые линии расположены так, как были до начала движения электрона. В сферическом вырезке между означенными кругами элементы силовых линий занимают промежуточные положения, соединяя собою движущиеся силовые линии с неподвижными. Этот сферический вырезок преломленных силовых линий несется по пространству²⁾, все расширяясь, представляя собою электромагнитное или световое излучение; его линии, как это мы знаем о свете, имеют проекции поперечные лучам распространения.

Мы называли эл. силовые линии „последнею реальностью“, но тем не

1) Магнитные силовые линии можно всегда рассматривать, как результат перемещения электрических; так делает напр. Л. Д. Томсон, объясняя и поле от постоянного магнита движущимися эл. линиями.

2) Скорость электрона распространяется по силовым линиям.

менее близко знакомы и отлично управляемся мы с нею. Можно сказать, что, насколько проволочная электротехника со своими машинами, измерительными приборами и телефонами обязана своим развитием фарадеевскому пониманию магнитных силовых линий, настолько беспроводная — умению обращаться с электрическими. Мы следим за ними в районе воздушной сети, соображая, хорошо ли она будет излучать, сгущаем их в конденсаторах, передвигаем их диэлектриками, даем им ускорять термионы в газовых реле, обращаемся в тепло в приемной антенне и ее детекторе, возбуждаем магнитное поле в телефонной трубке.

Переломы на этих силовых линиях (черт. 3), происходящие от каждого колебания электрона, каждого продвижения его взад и вперед, совсем уже трудно представлять себе, как „деформацию деформации“ эфира; нет, это просто прогибы на знакомой нам силовой линии, как волна, бегущая по веревке, после бокового удара по ней с одного конца. Силовые линии, которые мы теперь потрясаем, становятся совсем реальными и во всяком случае несколько не приобретают в реальности, оттого что мы предположим их в эфире — нашей гипотезе. А в таком случае зачем же остается всемирный эфир?

Эфир нам не нужен; он перестает быть или уходит от нас. погружается в совершенно чуждое нам, к чему мы не будем иметь никакого касательства.

Отбросим эфир; немножко изменится способ описания действия отправительной станции; и сильно опустеет мир: по Кельвину, обычная материя, которая теперь одна остается, имеется во вселенной в таком малом количестве, что ее может представить один куб мм воды в ста тысячах км километрах пустоты; особенно если вспомнить, какую массу обещал нам О. Лодж в своем эфире, да если еще прибавить, что тот же Лодж считает, что в каждом км мм эфира заключается запас энергии. могущий производить работу всей Ниагары в течении шести миллионов лет (10^6 HP на 40.10^6 лет¹⁾). Мир опустеет, обеднеет энергиею и лишится еще одного: по Аристотелю эфир есть высшее выражение, предел физического мира; и вот наш мир лишится этого своего идеала.

Такая перемена во взглядах на вселенную и на электромагнитное излучение происходит теперь в науке. И каждому из нас легче совершить такой перелом в мыслях, если мы узнаем, что сам Фарадей, основатель наших понятий о силовых линиях, считал его совершенно естественным.

Ниже приводится перевод знаменитого письма (1846 г.) Фарадея к Филиппу, сделанный с подлинника и сверенный с немецким переводом Калишера. Это письмо, опубликованное в том же году в журнале *Philosophical Magazine*, совершенно исключительно по своему содержанию и является изложением сокровеннейших мыслей („тени мыслей“) великого экспериментатора; мыслей настолько новых, что не только современники Фарадея, но даже три его первые биографа или совсем не отметили, или едва упоминают о них. Лишь последний, С. Томпсон (1898 г.) подчеркивает значение этих мыслей; лишь мы можем (или начинаем быть в состоянии) черпать из них истинное разумение.

¹⁾ См. его Мировой эфир. Одесса. 1911.

В переводе сделаны почти те же пропуски, которые допущены и Томпсоном; может быть, это как раз те места, которые мы и чрез 73 года еще не способны отметить, как особо замечательные.

Радиолaborатория. Н.-Новгород.

10 сент. 1919.

В. Лебединский.

Мысли о колебаниях в луче.

Ричарду Филиппсу. — Дорогой сударь, по вашей просьбе я попытаюсь передать вам, что собственно я решился утверждать в конце последнего пятничного вечернего заседания; помните только, сначала до конца, что я выражал, единственно как предмет для созерцания, смутные впечатления, имеющиеся в моем уме, потому что я ничего не дал такого, что было бы следствием основательного обсуждения, или твердого убеждения, или хотя бы представляло собою вероятное заключение, к которому я пришел.

Я пытался поставить перед слушателями вопрос, невозможно ли колебания — которые по известной теории представляют собою сущность излучения и лучистых явлений — считать происходящими в тех силовых линиях, которые соединяют частицы, а следовательно и массы, друг с другом; такое понимание, если его принять, сделает ненужным эфир, который при другом взгляде предполагается, как среда, в которой происходят колебания.

Вам знакомо воззрение, которое я несколько времени тому назад¹⁾ высказывал относительно природы материи, и по которому малейшие атомы рассматриваются, как центры сил, а не как находящиеся в таком же числе маленькие тельца, окруженные силами и мыслимые вне связи с силами, как могущие существовать без них. По этому последнему взгляду частички имеют определенный вид и конечную величину; по первому — это не так; ибо то, что мы представляем себе, как величину, может быть рассматриваемо, как проникновение на каждое любое расстояние, до которого только простираются силы; согласно этому частица может существовать только чрез свои силы и она есть, где они имеются. Понимание материи по такому воззрению привело меня мало по мало к тому, что я стал соображать, не силовые ли линии являются действительным местом колебаний в лучистых явлениях.

Еще одно соображение веское сразу для теоретического понимания и материи, и излучения выступает из сравнения скоростей, с которыми передается лучистое действие и некоторые силовые действия материи. Скорость света чрез пустое пространство около 190000 миль в секунду. Скорость электричества оказывается из опытов Витстона такую же, если не еще большею. Свет, предполагается, передается колебаниями в эфире, который, так сказать, лишен весомости, но обладает бесконечною упругостью; электричество проводится тонкою металлическою проволокой, и часто

¹⁾ Phil. Mag. 44, p. 136. 1844.

предполагают, что его передача производится тоже помощью колебаний. Едва ли можно сомневаться, что электрическая передача зависит от сил и способностей материи; достаточно вспомнить различие в проводимости различных металлов и других тел, способы изменять ее нагреванием или охлаждением, случаи, когда проводящие тела соединяясь образуют непроводящее вещество и обратно, фактическое существование одного и того же элементарного тела (уголь) в состоянии проводника и непроводника. Способность электрической проводимости, представляя собою передачу силы со скоростью света, оказывается связанною со свойствами материи, зависящею от них, заключающеюся в них.

В опытной науке мы различаем, смотря по тому, какие явления имеют место, различные роды силовых линий. Так, существуют линии силы тяготения, электростатической индукции, магнитного действия, и могут быть, вероятно, включены еще и другие динамического характера. Линии электрического и магнитного действия многие рассматривают проходящими прямо чрез пространство подобно линиям силы тяжести. Что касается до меня, то я склонен думать, что если на пути встречаются частицы материи — которые и сами суть лишь центры сил — они принимают участие в передаче сил по линиям, а если их нет, то линии проходят чрез пространство. Какого бы не придерживаться взгляда относительно них, мы можем во всяком случае представить себе воздействие на эти силовые линии вроде удара или бокового (поперечного) колебания. Действительно, предположим, что два тела AB , находящиеся на известном расстоянии, взаимодействуют, а следовательно связаны силовыми линиями; и будем думать о той равнодействующей силе, которая имеет неизменное направление в пространстве; если одно из тел сдвинется чрезвычайно мало, вправо или влево, или его действие сместится на мгновение внутри массы (оба эти случая легко могут быть получены, если A и B — электризованные или магнитные тела), тогда произойдет действие эквивалентное боковому возмущению на той равнодействующей, на которой мы остановили свое внимание, ибо или она усилится, причем соседние равнодействующие ослабнут, или она будет представлять меньшую силу, а те усилятся.

Могут спросить, что же собственно представляют по природе своей силовые линии, которые способны передать такое действие и заменить эфир в вибрационной теории. Я не считаю, что на этот вопрос мог бы ответить при некоторой осторожности, все, что я могу сказать, это то, что не мыслю в пространстве, будь оно (воспользуюсь обычными выражениями) пустое или заполнено материей, нигде ничего другого, как только силы и те линии, которыми они обнаруживаются.

Согласно взгляду, который я имею смелость выдвигать, излучение представляется, следовательно, как некий высший вид колебания в силовых линиях, которые известны, как соединяющие частицы материи, а значит и массы, друг с другом. Это есть попытка упразднить эфир, но не колебания. Единственный род колебаний, который, как я думаю, может дать объяснение удивительным, разнообразным и прекрасным явлениям поляризации, это не тот самый, который происходит на поверхности возбуждения

женной воды или в звуковых волнах в газах и жидкостях, потому что во всех этих случаях колебания продольны, т. е. происходят взад и вперед по линии, идущей от источника действия, тогда как в первом случае они поперечны. Мне кажется, что одна или много линий представляют полное условие для такого действия, которое может быть рассматриваемо, как эквивалентное *поперечному* колебанию; тогда как однородная среда вроде эфира не представляется годной для этого или более годной, чем воздух или вода.

Всякое изменение на одном конце силовой линии легко возбуждает последующее изменение на другом. Распространение света, а следовательно, вероятно, и всякого другого лучистого явления требует времени; и для того, чтобы колебание силовой линии являлось объяснением лучистых явлений, это колебание должно и само требовать времени.

И вот, дорогой Филипп, я заканчиваю. Думаю, что я никогда не позволил бы себе высказать эти мысли, если бы не был увлечен неожиданно, без предварительной подготовки, когда по обстоятельствам того вечера¹⁾ я появился вдруг, заменяя другого. Теперь, когда я изложил на бумаге, я чувствую, что должен был бы удерживать свои мысли гораздо дольше в себе, чтобы исследовать, взвесить и, может быть, в конце концов — отбросить их; и только потому я придаю им форму, если это может быть названо формой, этого ответа на ваши вопросы, что они конечно, тем или иным путем будут распространяться, раз уже были обнаружены в тот вечер. Несомненно лишь то, что никакая гипотеза о лучах, которая может быть принята и удержана, как удовлетворительная, не может уже больше объяснять только световые явления, но должна обнять и тепловые, и активичные действия, а также связанные явления осязаемого тепла и химических сил, производимые светом. В этом отношении взгляд, основывающийся до известной степени на понятии об обыкновенных силах вещества, заслуживает, чтобы на нем несколько остановиться посреди других взглядов, могущих по всей вероятности возникнуть. Я легко допускаю, что мною сделано не мало ошибок на предыдущих страницах, ибо даже мне самому эти мои идеи кажутся лишь тенью мыслей или теми бродячими мыслями, которые на время могут быть допущены, как руководство для размышлений и исследований. Всякий, кто ведет опытные исследования, знает, как обильны они, и как часто вся их кажущаяся годность и красота исчезают по мере продолжения и развертывания действительной истины, истины в природе.

Кор. институт. 15 апр. 1846.

М. Фарадей.

1) Фарадею пришлось заменить заболевшего Витстона.