

## ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. Г. Иосифьян, действ. чл. АН Армянской ССР

К вопросу об уравнениях взаимодействия  
электричества и вещества

(Представлено 23 IX 1954)

В настоящей работе делается попытка описать общий закон электромагнитных процессов и закон взаимодействия вещества и электричества.

Формулировка этих законов является результатом обобщения и уточнения следующих опытных данных и общепринятых постулатов.

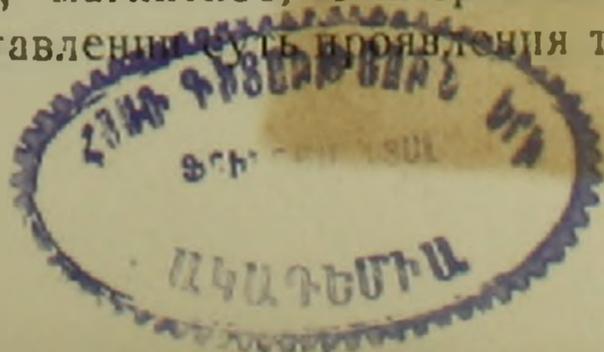
1. Материальность, единство и противоположность вещества и поля.
2. Закон сохранения и неуничтожаемости материи и энергии.
3. Свойство электрического заряда сохраняться вечно в абсолютно изолированной вещественной среде.
4. Свойство магнитного потокосцепления сохраняться вечно в сверхпроводящем контуре (в абсолютном проводнике), абсолютно изолированном и не взаимодействующим с другими контурами.
5. Свойство электричества бесконечно суперпозироваться в данной точке пространства, лишенной ядерного вещества (вакуум).
6. Невозможность суперпозиции ядер или соединенных групп ядер вещества в данной точке пространства.
7. Постоянство скорости распространения электромагнитного поля (света) в вакууме.

## А. Определения и гипотезы.

1. Электричеством, как форму состояния гравитационного поля, мы называем материальную субстанцию, имеющую свою меру как таковую и не определяемую через что-либо другое более простое (или более общее).

Электричество в состоянии электростатического, магнитного и электромагнитного полей проявляет себя так же, как и гравитационное поле, в виде непрерывной материальной субстанции — континуума, обладающего свойством бесконечной суперпозиции. Это значит, что в любой данной точке пространства, лишенной ядерного вещества, возможно одновременное проявление действия бесконечного числа электрических зарядов, фотонов и гравитационных полей.

Электрическое, магнитное, электромагнитное и гравитационное поля в нашем представлении суть проявления тождественной материальной субстанции.



II. Веществом мы называем материальную субстанцию в виде ядра или группы ядер (дисконтинуум), имеющую свою меру как таковую в виде массы и неопределяемую через что-либо другое, более простое (или более общее).

В отличие от электричества, вещество (ядро или группа ядер) не суперпозируемо, т. е. в одной и той же точке пространства невозможно одновременное нахождение двух или нескольких ядер (тел).

Электрическое поле, образованное в результате энергетического воздействия на абсолютно изолированное вещество, и магнитное поле, образованное в результате воздействия на замкнутый вещественный абсолютный проводник (сверхпроводящий контур), являются двумя предельными квазистатическими граничными состояниями электричества. При отсутствии внешних воздействий на ядерное вещество после образования этих полей оба эти граничные состояния сохраняются вечно.

Переход этих полей из одного граничного состояния в другое мы называем электромагнитным полем.

III. Под абсолютно изолированным веществом (изолятором) мы понимаем вещество, ядра которого, будучи связаны с электричеством и друг с другом гравитационным полем, пребывают в состоянии, исключающем возможность изменения заряда во времени и обмена энергией между ядрами и окружающим пространством.

IV. Абсолютным проводником или сверхпроводником мы называем вещество, ядра которого, будучи связаны с электричеством и друг с другом гравитационным полем, находятся в состоянии, допускающем полный обмен энергиями между ядрами, но без поглощения и излучения энергии в окружающее пространство.

Все материальные тела занимают по своим свойствам промежуточное положение между абсолютным изолятором и абсолютным проводником, рассматриваемыми как идеальные абстрактные качества материальных тел.

В пространстве, свободном от ядерного вещества (вакуум), электричество может находиться только в состоянии такого движения (изменения), при котором происходит прямое и обратное преобразование электрического поля в магнитное. Это состояние мы называем квазистационарным или квантовым состоянием.

Квантовое состояние электричества (фотон) характеризуется неизменной энергией и распространяется в пространстве со скоростью света.

*Закон Действия электричества.* Перечисленные выше факты позволяют примерно формулировать нижеследующий объективный закон природы — закон движения (изменения) электричества.

*Электричество, связанное с ядерным веществом, может находиться либо в состоянии электростатического поля, либо в состоянии магнитного поля, пока Действие не выведет его из этого состояния.*

Закон постулирует способность электричества пребывать в этих своих естественных состояниях. Эту способность мы называем инерцией или инертностью электричества.

Для того, чтобы вывести электричество из этих двух граничных состояний, необходимо воздействие либо на заряд, либо на потокосцепление. Мету этого воздействия мы будем называть Действием и определять следующим образом:

$$D = q\psi, \quad (1)$$

где  $D$  — Действие = const. в энергетически изолированной системе.

$q$  — количественная мера электричества в состоянии электростатического поля (заряд).

$\psi$  — количественная мера электричества в состоянии магнитного поля (магнитное потокосцепление контура).

Из равенства (1) следует, что Действие есть мера такового, устанавливаемая пропорционально количеству электричества и магнитному потокосцеплению контура.

Этот закон говорит о равноправии состояний магнитного и электрического полей, которые рассматриваются как естественные граничные состояния электричества.

Величина заряда  $q$  для случая электрического поля и его распределение в пространстве для тел известной формы могут быть приближенно определены по известным уравнениям классической электродинамики:  $\varepsilon = f(E)$ ,  $\int_s \varepsilon E ds = q$ , а магнитное поле (второе граничное состояние заряда) из уравнений:

$$\psi = \int_s B_n ds; \int_0 \bar{H} d\bar{l} = I = \frac{dq}{dt}, \quad B = \mu H; \quad \mu = f(H). \quad (1')$$

Следует отметить, что для граничного состояния электрического заряда, приближающегося к электростатическому полю, имеем:  $q \rightarrow \text{const}$ . Поскольку  $\dot{q} \rightarrow 0$ , а электрический заряд связан с бесконечным разомкнутым контуром, то  $\lambda(x, y, z) \rightarrow \infty$  и для определения  $D$  нужно раскрыть неопределенность. Для другого граничного состояния (сверхпроводник) имеем:  $\dot{q} = \text{const}$ . Очевидно, что в контуре, состоящем из реального вещества, при отсутствии внешних источников энергии эти граничные состояния невозможны.

Изменение Действия одиночного замкнутого контура в функции времени определяется производной Действия по времени и характеризует энергетическое состояние контура

$$\mathcal{E} = \frac{dD}{dt} = q \frac{d\psi}{dt} + \frac{dq}{dt} \psi \quad (2)$$

( $q$  может быть функцией координат, плотности заряда и времени, а  $\psi$  функцией координат, скорости изменения заряда и координат по времени, в соответствии с (1')).

При наличии  $k$  контуров можно составить  $k$  уравнений типа (2). Если каждый  $k$ -ый контур имеет связь с другими контурами, то потокосцепление  $k$ -го контура будет:

$$\psi_k = \lambda_k \dot{q}_k + \sum_1^n \lambda_{nk} \dot{q}_n .$$

В общем случае  $\lambda_k$  и  $\lambda_{nk}$  являются функциями  $q_k$  и  $q_n$  или могут быть выражены интегральными коэффициентами, определяемыми структурой вещества, занимающего область, в которой действуют потокосцепления.

Если  $q_k$  и  $\psi_k$  — заряды и потокосцепления внутри кристаллической решетки вещества, то, следуя В. Ф. Миткевичу, можно найти:

$$\mu = f_1 \left( \frac{\sum_1^n \psi_{nk} \dot{q}_n}{\psi_k \dot{q}_k} \right).$$

Аналогично используя  $\sum q_k \dot{\psi}_k$ , можно получить выражение для диэлектрической постоянной вещества:

$$\varepsilon = f_2 \left( \frac{\sum_1^n q_n \dot{\psi}_{nk}}{q_k \dot{\psi}_k} \right).$$

При исследовании электромагнитных процессов в неподвижных, но связанных потокосцеплениями контурах обобщенные пространственные координаты не будут зависеть от времени. Это дает возможность составить  $k$  уравнений с  $k$  неизвестными  $q_k$ , позволяющих однозначно, при известных начальных условиях, найти неизвестные  $q_k$ .

Система уравнений справедлива не только для макроконтуров, геометрические размеры которых могут быть известны, но справедлива и для микроконтуров, если можно задать пространственное распределение электрических зарядов и ядер (или групп ядер), образующих замкнутый контур.

*Излучение и поглощение электрической энергии открытым сверхпроводящим контуром.* Если заряд контура взаимодействует с зарядами и другими контурами, геометрические размеры которых соизмеримы с размерами данного контура, то можно составить в явной форме  $n$  уравнений по числу  $n$  контуров.

Эти уравнения описывают макропроцессы. Однако в любом вещественном контуре, состоящем из  $Z$  ядер, образующих кристаллическую решетку, имеется  $Z$  взаимодействующих микроконтуров, связанных как гравитационным полем, так и магнитными потокосцеплениями. Очевидно, что возбуждение потокосцепления в какой-либо части вещества вызовет соответствующее возбуждение потокосцеп-

лений в соседних частях. Стало быть, потокосцепления вдоль вещественных контуров будут иметь пространственный и временной сдвиг по отношению к участкам начального возбуждения. В этом случае область наибольшего возбуждения будет распространяться вдоль вещественного контура. Это распространение возбуждения обычно называют электрическим током и количественно определяют как изменение заряда во времени.

Опыт показывает, что в результате микроколебательных процессов в реальных проводниках имеет место излучение электромагнитной энергии, являющееся причиной тепловых процессов в веществе и окружающем пространстве. С другой стороны квант электрической энергии (фотон), встречающий ядерное вещество, может, при соответствующих условиях, поглощаться или отражаться.

Изменение потокосцепления  $\psi$  основного контура с зарядом  $q$ , обусловленное процессом излучения, отображает внутренние процессы по отношению к рассматриваемому контуру.

Если приращение потокосцепления контура, обусловленное эффектом излучения, обозначить через  $d\psi_1$ , приращение потокосцепления, обусловленное источником энергии, через  $d\psi_2$ , то результирующее изменение потокосцепления в системе составит:

$$d\psi = d\psi_1 + d\psi_2.$$

В процессе отделения заряда  $dq$  от основного заряда  $q$  изменение Действия  $D$  контура происходит непосредственно в момент нарушения контакта  $dq$  и  $q$ .

Применяя постулат о постоянстве скорости света, можно считать, что воздействие заряда  $dq$  на заряд  $q$  прекращается сразу же после отделения  $dq$ . Это явление, названное нами электрическим ударом, показывает, что скорость изменения (движения) зарядов в областях, занятых зарядом, происходит также со скоростью света. В противном случае постулат о постоянстве скорости света не был бы применим для периода отделения  $dq$  от  $q$ .

Процесс непрерывного отделения заряда от контура во время излучения позволяет с достаточным приближением составить дифференциальное уравнение излучения с учетом того, что энергия непрерывно подводится к излучающему контуру. Если в момент  $t$  заряд контура равен  $q = q(t)$ , а потокосцепление в тот же момент времени равно  $\psi = \psi(t)$ , то Действие

$$D = q\psi.$$

Пусть за время  $dt$  заряд  $q$  отделил или поглотил заряд  $\mp dq$  („—“ излучение, „+“ поглощение) с потокосцеплением  $\varphi$ , являющимся функцией изменения заряда в контуре, тогда Действие системы (контур + излученный заряд) в момент  $t + dt$  будет:

$$D_1 = \mp dq \cdot \varphi + (q + dq)(\psi + d\psi_1).$$

На основании закона сохранения Действия имеем:  
 $D_1 = D$ , откуда, пренебрегая бесконечно малой величиной второго порядка, имеем:

$$d\psi_1 = \frac{dq}{q} (\varphi \mp \psi).$$

Учитывая, что излучающий контур подключен к источнику внешней энергии и что источник будет восполнять излучаемую контуром энергию, имеем:

$$qd\psi_2 = \mathcal{E}dt$$

и

$$\mathcal{E} = \frac{d}{dt}(q\psi) - \varphi \frac{dq}{dt}. \quad (3)$$

Это уравнение характеризует термодинамическое состояние контура и его можно применить для определения излучения энергии как для макро-, так и для микроконтуров. Для макроконтуров  $\varphi$  будет определяться параметрами излучающего контура. Интегрируя уравнение (3), получаем:

$$q\psi - q_0\psi_0 = \int_{t_0}^t \mathcal{E}dt + \int_{q_0}^q \varphi dq, \quad \text{где } \int_{t_0}^t \mathcal{E}dt \text{ мы называем импульсом энергии.}$$

Если  $\mathcal{E} = 0$ ,  $\varphi = 0$ , то  $q\psi = q_0\psi_0$ .

Для микроконтуров, геометрические параметры которых пока не поддаются точному измерению, можно ввести для  $\varphi$  интегральные коэффициенты.

*Закон Действия для вещества.* Закон действия вещества основывается на известном законе сохранения импульса (количество движения) классической механики:

$$G = mv,$$

где  $m$  — масса ядра или группы ядер вещества.

$v$  — скорость.

Этот закон постулирует естественную способность вещественных тел пребывать в состоянии покоя или прямолинейного и равномерного движения до тех пор, пока действующие на него силы не изменят это состояние, т. е.  $G = mv = \text{const}$  (при отсутствии внешних сил).

Эту способность тел (масс) называют инертностью или инерцией тел, которую, в отличие от инертности электромагнитного поля, можно называть инерцией масс или инерцией вещества. В соответствии с принципом виртуальных перемещений устанавливается, что Действие при условии, что время не варьируется, равно:

$$D_m = \int_{t_0}^t (\delta T + \delta A) dt, \quad \text{где } \delta T \text{ вариация кинетической энергии, а } \delta A \text{ — виртуальная работа внешних сил.}$$

Если внешние силы имеют потенциал  $V$ , то справедлив принцип Гамильтона, обобщенный на случай консервативных систем, т. е.

$$D_m = \delta \int_{t_0}^t (T - V) dt = 0.$$

Из этого принципа выводятся уравнения Лагранжа второго рода, связывающие обобщенные силы, координаты и кинетическую энергию при независимых координатах  $g_k$  и отсутствии неинтегрируемых дифференциальных связей.

*Уравнения взаимодействия вещества и электромагнитного поля.* Для исследования движения вещественных масс, имеющих заряд  $q$  и потокосцепления  $\psi$ , связанные с ядрами или группами ядер, необходимо составить систему дифференциальных уравнений, учитывающих электромагнитные процессы в контурах и движения исследуемых масс. Такими уравнениями являются:

$$\mathcal{E}_k = q_k \dot{\psi}_k + \psi_k \dot{q}_k + \varphi_k \dot{q}. \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mathcal{E}_k}{\partial g_k} = \frac{d}{dt} \frac{\partial T_k}{\partial \dot{g}_k} - \frac{\partial T_k}{\partial g_k}, \quad (5)$$

где  $T_k$  — кинетическая энергия  $k$ -го контура с массой  $m_k$ , равная, например

$$T_k = \frac{1}{2} K_{mk} \dot{g}_k^2.$$

Ясно, что эти уравнения существенно нелинейны. При заданных источниках энергии  $\mathcal{E}_k$  и связях координаты  $g_k$  могут быть найдены и, следовательно, будут полностью определены пространственные положения всех тел в функции времени.

Изменение энергии может происходить как путем внутреннего самовозбуждения, так и путем внешнего воздействия систем, в которых происходит энергетическое взаимодействие.

*Заключение и выводы.* Из уравнения, описывающего энергетическое состояние контура с сосредоточенными постоянными, в наиболее общем случае можно, варьируя энергию по зависимым переменным, установить физический смысл отдельных слагаемых.

Из уравнения (3) имеем:

$$\delta \mathcal{E} = q \delta \psi + \psi \delta q + \dot{q} \delta \psi + \psi \delta \dot{q} + \delta (\dot{q} \varphi).$$

Отдельным слагаемым этого уравнения, если время не варьируется, можно придать следующий смысл:

$q \delta \psi$  — изменение энергии, связанное с процессами в электростатическом поле,  $\delta \psi = d\psi$ ,  $d\psi = du$  (например, при механической коммутации контура)

$$\mathcal{E}_1 = \int^n q du = \frac{Cu^2}{2}; (C = \text{const}),$$

$\dot{\psi} \delta q$  — изменение энергии, связанное с процессами в магнитном поле

$$\delta \dot{q} = di_1,$$

$$\mathcal{E}_2 = \int \dot{\psi} di = \frac{Li^2}{2} \quad (L = \text{const}),$$

$\dot{\psi} \delta q$  — изменение энергии при прямом или обратном преобразовании электростатической энергии в механическую

$$\delta q = dq; \quad \dot{\psi} = u. \quad \mathcal{E}_3 = \int u dq,$$

$\dot{q} \delta \psi$  — изменение энергии при прямом или обратном преобразовании магнитной энергии в механическую  $\mathcal{E}_4 = \int i d\psi$ ,

$\delta(q \dot{\psi})$  — энергия, излучаемая контуром (в том числе и тепловая),

$$\delta(q \dot{\psi}) = d(q \dot{\psi}); \quad \mathcal{E}_4 = A\gamma; \quad \varphi = \varphi_0 e^{j\omega t} \quad A = \text{const}; \quad q = q_0 e^{j\omega(t-t_0)}.$$

Вычисляя полную производную энергии по времени  $\frac{d\mathcal{E}}{dt}$ , можно найти мощность системы и путем простых преобразований получить составляющие приложенного напряжения (если, конечно, известны параметры контура или системы контуров).

Так, например, для контура с сосредоточенными линейно изменяющимися параметрами можно показать, что приложенное напряжение равно:

$$u = \frac{q}{C(t)} + L(t) \frac{di}{dt} + R_{\text{взл.}} i, \quad \text{где } C(t) = \frac{dq}{d\varphi}; \quad L(t) = \frac{\dot{\psi}}{i},$$

а  $R_{\text{взл.}} = \frac{1}{i} \frac{d\varphi}{dt}$  (в предположении, что связь между излученным квантом и излучающим контуром пренебрежимо мала).

В случае, когда  $q = q(t)$  и  $\psi = \psi(t + t_0)$  представлены в виде разложения Фурье по времени, то средняя энергия оказывается равной бесконечной сумме слагаемых вида:

$$\mathcal{E}_k = A_k \nu_k \quad (k = 1, 2 \dots), \quad \text{где}$$

$A_k$  — постоянная величина, а  $\nu_k$  — частота  $k$ -ой гармоники. Это равенство выражает известную связь между энергией и частотой излучения.

Для частного случая, когда частица вещества состоит из одного ядра и одного электрона, получаем, что среднее магнитное потокосцепление, связанное с ядром, равно  $\psi_e = \frac{h}{e}$ , где  $e$  — заряд электрона, а  $h$  — постоянная Планка.

Ограничиваясь приведенными примерами по применению закона Действия к решению задач электродинамики, заметим, что движение (изменение) электрического заряда описано без введения в уравне-

ния инертных (по Ньютону) масс самого заряда, подобно тому, как это сделано в известном уравнении Лорентца. Этот общий вывод позволяет предположить, что электрон, так же как и фотон, не имеет массы, в обычном значении этого слова. Для нахождения движения зарядов, связанных с веществом (например ионов), достаточно совместно решить уравнения (4) и (5).

В заключение необходимо подчеркнуть, что высказанные гипотезы, а также выводы, должны рассматриваться как первые шаги на пути создания теории.

Лаборатория электротехники  
Академии наук Армянской ССР

## Ա. Ղ. ԻՈՍԻՖՅԱՆ

### էլեկտրականության և նյութի փոխազդեցության հավասարումների հարցի շուրջը

Հոդվածում շարադրված են էլեկտրամագնիսական դաշտի թեորիայի ֆիզիկական հիմունքները և այդ դաշտի ու նյութի միջև փոխազդեցության թեորիան: Ցույց է տրված, որ բնության մեջ զոյուծյուն ունի օրյեկտիվ օրենք, որով բնութադրվում են էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի ինեբրցիոն հատկությունները: Այդ օրենքը ձևակերպվում է հետևյալ կերպ:

«Միջուկային նյութի հետ կապված էլեկտրականությունը կարող է գտնվել էլեկտրաստատիկ դաշտի կամ մագնիսական դաշտի վիճակում մինչև որ Գործողությունը նրան դուրս չհանի այդ վիճակից»:

Այդ օրենքը իրավացի է էլեկտրամագնիսական դաշտի համար և նկարագրում է էլեկտրամագնիսական պրոցեսները միջուկային նյութի բացակայության դեպքում, առկա զասական մեխանիկայի ինեբրցիայի օրենքից:

էլեկտրամագնիսական դաշտի գործողության մաթեմատիկական արտահայտությունն է՝

$$D = q \cdot \psi,$$

որը փակ տիրույթի համար իրավացի է ժամանակի ամեն մի մոմենտում: Այդ բանաձևում՝

$q$  — էլեկտրականության քանակն է, երբ նա գտնվում է էլեկտրաստատիկ դաշտի վիճակում:

$\psi$  — էլեկտրականության քանակն է, երբ նա գտնվում է մագնիսական դաշտի վիճակում:

Նյութական մասսաների համար Գործողության օրենքի մաթեմատիկական արտահայտությունը իրենից ներկայացնում է Համիլտոնի կոնսերվատիվ սիստեմների դեպքերի համար ընդհանրացված հայտնի սկզբունքը՝

$$\delta \int_{t_0}^t (T - v) dt = 0.$$

Այդ սկզբունքը հետևանք է իմպուլսի (շարժման քանակի) միջոցով արտահայտված նյութական մասսաների ինեբրցիայի օրենքի  $G = mv = \text{const}$  (արտաքին ուժերի բացակայության դեպքում):

էլեկտրամագնիսական պրոցեսների գործողության օրենքը թույլ է տալիս կազմել կոնտուրի կողմից էլեկտրամագնիսական էներգիայի (նույն թվում և լույսի) արտացոլումը կամ կլանումը արտահայտող հավասարումը, քանի որ օրենքը իրավացի է ոչ միայն մակրոպրոցեսների, այլև միկրոպրոցեսների համար:

հավասարման տեսքն է՝

$$\mathcal{D} = \frac{d}{dt}(q\psi) \pm \varphi \frac{dq}{dt};$$

որտեղ  $\varphi$  — էլեկտրամագնիսական էներգիայի արտացոլված կվանտի հոսանքաչափակապում է, որը կոնտուրի երկրաչափական չափերի և հոսանքի ֆունկցիան է:

էլեկտրամագնիսական պրոցեսների և նյութական մասսաների Գործողության օրենքները թույլ են տալիս էներգիայի հայտնի աղբյուրների դեպքում որոշել ինչպես մասսաների, այնպես էլ կոնտուրների հոսանքների շարժումը (փոփոխությունը):

Աշխատանքում ցույց է տված, երբ  $q$ -ն և  $\psi$ -ն ժամանակի ֆունկցիաներ են և կարող են ներկայացվել Ֆուրյեի տարրալուծումով, ապա օսցիլյատորի միջին էներգիան հավասար է դառնում անվերջ գումարելիների գումարին, որն արտահայտվում է հետևյալ ձևով.  
 $\mathcal{D}_k = A_k \nu_k$ , որտեղ՝

$A_k$  — մշտական մեծություն է,

$\nu_k$  —  $k$ -երրորդ հարմոնիկայի հաճախականությունն է:

Գծային օրենքով փոփոխվող  $L$ ,  $C$  և  $R$  պարամետրներ ունեցող կոնտուրի համար գտնված է միացված լարվածության արտահայտությունը, որը համընկնում է փոփոխական հոսանքի նման շղթայի համար Կիրխոֆի հավասարման հետ:

Աշխատանքում ցույց է տրված նույնպես, որ Գործողության օրենքի կիրառումը թույլ է տալիս ենթադրել, որ էլեկտրական լիցքը (օրինակ՝ էլեկտրոնը), ինչպես նաև ֆոտոնը մեխանիկական իմաստով մասսա չունեն: