

Основы магнетизма или сведение магнитных явлений к электрическим

Известно [1], что на электрический заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_L = \frac{1}{c} q_1 \left[\vec{V} \times \vec{B} \right], \quad (1)$$

где q_1 - величина движущегося заряда, \vec{V} - скорость заряда, \vec{B} - магнитная индукция поля, в котором движется заряд, 'с' - скорость света.

Также известно [2], что магнитное поле бесконечного прямолинейного проводника с током I равно:

$$B = \frac{1}{c} \mu \frac{2I}{R_0}, \quad H = \frac{1}{c} \frac{2I}{R_0}, \quad (2)$$

где H - магнитное поле, B - магнитная индукция, μ - магнитная проницаемость, для простоты расчетов примем $\mu=1$, R_0 - расстояние от измеряемой точки до проводника.

Рассмотрим эту простую физическую ситуацию с точки зрения электрических сил и явлений. В любом электрическом поле E на электрический заряд q действует сила F :

$$F = qE. \quad (3)$$

Также в любой природы электрическом поле E нейтральный атом приобретает дипольный момент (диполь):

$$\vec{p} = -\alpha \vec{E}. \quad (4)$$

Диполь является источником своего поля [3]:

$$E_R = 2 \left(\frac{[p]}{R^3} + \frac{\dot{[p]}}{cR^2} \right) \cos(\theta)$$

$$E_\theta = \left(\frac{[p]}{R^3} + \frac{\dot{[p]}}{cR^2} + \frac{\ddot{[p]}}{c^2 R} \right) \sin(\theta), \quad (5)$$

где величины в квадратных скобках соответствуют запаздывающим значениям, знак \bullet - обозначает производную по времени.

Можно принять за аксиому, что при движении зарядов по проводнику в нем возбуждаются диполи, которые являются источником пульсирующего электрического поля. Пульсирующего – потому что ток по проводнику движется в одном направлении.

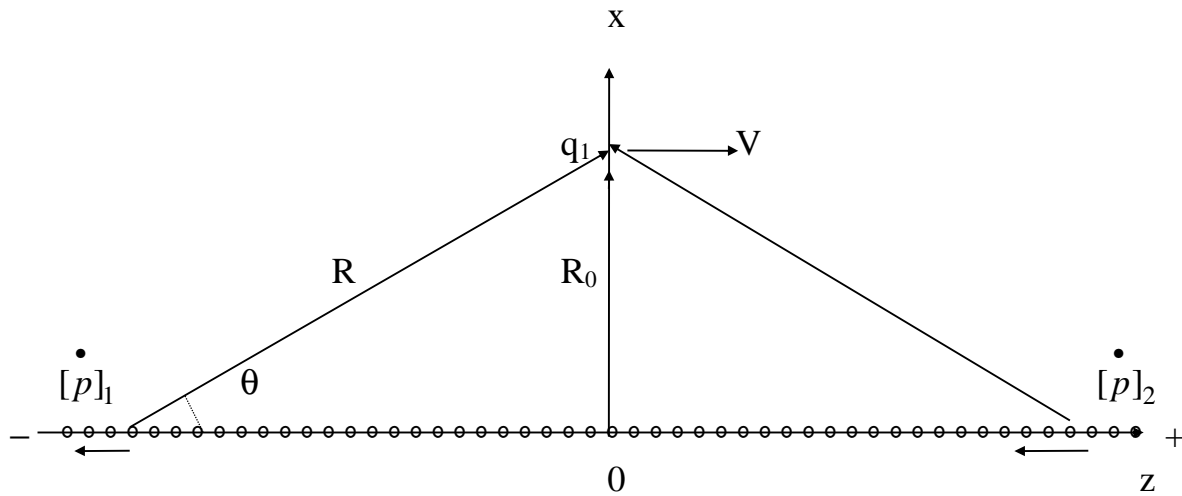


Рис. 1.

Диполи возбуждаются от удара движущихся по проводнику электронов о нейтральный атом. Электроны разгоняются под действием внешнего электрического поля в пространстве между атомами решетки проводника – d . Так как диполи возбуждаются ударом электронов, направление вектора диполя совпадает с направлением внешнего электрического поля. Диполь образуется и существует только в кратковременный момент удара электрона τ .

τ – это время жизни диполя. За это время диполь излучает в окружающее пространство цуг вектора электрического поля определенного направления длиной l согласно формул (5).

$$l = c(t_1 - t_0) = c\tau \quad (6)$$

Силу тока, протекающего по проводнику, можно представить так:

$$I = \frac{q N_{xy} S}{t} = \frac{qd N_{xy} S}{t d} \approx \frac{[p]}{d} N_{xy} S, \quad (7)$$

где N_{xy} – поверхностная плотность движущихся зарядов по сечению проводника, S – площадь сечения проводника.

Поэтому из разнообразия слагаемых формулы электрического поля диполя (5) выбираем выделенную часть

$$E_R = 2 \frac{[p]}{cR^2} \cos(\theta), \quad E_\theta = \frac{[p]}{cR^2} \sin(\theta). \quad (8)$$

Механизм взаимодействия движущегося заряда с цугом электрического поля диполя объясняется следующим образом. Два цуга движутся навстречу друг к другу с электрическими полями, векторы которых противоположны, и встречаются в точке нахождения заряда. Для неподвижного заряда время взаимодействия τ заряда с каждым цугом одинаково, а так как силы взаимодействия противоположны, то они нейтрализуют друг друга.

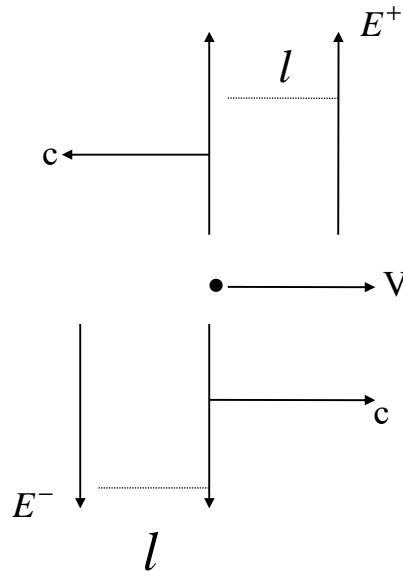


Рис. 2.

Для движущегося заряда время взаимодействия с противоположными цугами различно:

$$\tau^- = \frac{l}{c-V}, \quad \tau^+ = \frac{l}{c+V}, \quad d\tau = \tau^- - \tau^+ = \frac{2lV}{c^2 - V^2}. \quad (9)$$

На заряд действует импульс силы от взаимодействия с противоположными цугами:

$$i = F d\tau = q_1 E d\tau = q_1 \frac{2V}{c^2 - V^2} \int_0^l E dl = q_1 \frac{2cV}{c^2 - V^2} \int_0^\tau E dt, \quad (10)$$

где E – электрическое поле цуга диполя.

Согласно рис. 1, рис. 2 векторы скорости света и скорости заряженной частицы находятся под углом θ по отношению друг к другу, поэтому соотношение (10) для общего случая запишется так:

$$i = q_1 \frac{2cV \cos(\theta)}{c^2 - V^2 \cos^2(\theta)} \int_0^{\tau} E dt \approx q_1 \frac{2V \cos(\theta)}{c} \int_0^{\tau} E dt, \quad (11)$$

если учесть, что скорость света намного больше скорости заряженной частицы.

Проекции вектора электрического поля диполя согласно рис. 1, учитывая (8), таковы:

$$E_x = E_R \sin(\theta) + E_\theta \cos(\theta) = 3 \frac{p}{cR^2} \cos(\theta) \sin(\theta), \quad (12)$$

$$E_z = E_R \cos(\theta) - E_\theta \sin(\theta) = \frac{p}{cR^2} (2\cos^2(\theta) - \sin^2(\theta))$$

$$\sin(\theta) = \frac{R_0}{\sqrt{R_0^2 + z^2}}, \quad \cos(\theta) = \frac{z}{\sqrt{R_0^2 + z^2}}. \quad (13)$$

Найдем полный импульс силы от всех диполей проводника, действующий на движущийся заряд. Для этого подставим соотношения (12), (13) в (10) и проинтегрируем по сечению и длине проводника.

$$i_x = \frac{N_{xy}}{d} S \cdot 2 \int_0^{\infty} i dz = 12q_1 \frac{N_{xy} S}{d} V \frac{p}{c^2} \int_0^{\infty} \frac{R_0 z^2 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}}, \quad (14)$$

где введено обозначение:

$$\bar{p} = \int_0^{\tau} p dt. \quad (15)$$

Значение вычисленного интеграла (14) таково:

$$\int_0^{\infty} \frac{R_0 z^2 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{1}{3} \frac{R_0 z^3}{R_0^2 (R_0^2 + z^2)^{3/2}} \Bigg|_0^{\infty} = \frac{1}{3R_0}. \quad (16)$$

Частота образования диполей равна частоте соударений движущегося со скоростью v электрона с атомами решетки проводника:

$$f_e = \frac{v}{d}. \quad (17)$$

Сила, действующая на заряд q_1 , движущийся вдоль оси z на расстоянии R_0 от проводника с током согласно рис. 1, равна произведению импульса силы на частоту образования этих импульсов. Учитывая (14), (16), (17), получим:

$$F_x = i_x f = q_1 \frac{4V_z}{R_0 c^2} \frac{\bar{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d}. \quad (18)$$

Эта же сила из известных соотношений (1), (2) и закона Ома [8] равна

$$F_x = q_1 \frac{2 I V_z}{R_0 c^2} = q_1 \frac{2 V_z}{R_0 c^2} \frac{U}{R_R}, \quad (19)$$

где I – ток, текущий по проводнику, U – падение напряжения на проводнике, R_R – сопротивление проводника.

Из равенства соотношений (18), (19) находим соотношения в системе СГСЭ:

$$\begin{aligned} I &= 2 \frac{\bar{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d} \quad [cm^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot cek^{-2}], \\ U &= 2 \frac{\bar{p}}{d} N_{xy} L \quad [cm^{1/2} \cdot g^{1/2} \cdot cek^{-1}], \\ R_R &= \frac{d L}{v S} \quad [cm^{-1} \cdot cek], \end{aligned} \quad (20)$$

где L – длина проводника, d – параметр решетки проводника, S – площадь сечения проводника, N_{xy} – поверхностная плотность (вдоль сечения проводника) диполей или движущихся электронов по проводнику, так как они сталкиваются с атомами решетки и создают диполи, \bar{p} – среднее значение (усредненное по времени за время жизни) диполя, v – скорость движущихся по проводнику электронов.

Из последней формулы соотношений (20) видно, что скорость электронов для данного типа проводника является константой и не зависит от силы тока, протекающего по проводнику. Из второй формулы можно сделать вывод, что среднее значение величины диполя также является константой, переменной величиной является поверхностная плотность диполей. Источником падения напряжения на проводнике при прохождении через него электрического тока является электрическое поле диполей атомов проводника, возбуждаемых движущимися электронами. Зная параметры проводника, константы легко вычислить. Для этого переведем систему уравнений (20) в единицу измерения СГСМ.

$$\begin{aligned}
I &= 2 \frac{p}{d} N_{xy} S \frac{v}{d}, [g^{1/2} \text{ cm}^{1/2} \text{ cek}^{-1}], \\
U &= 2 \frac{p}{d} N_{xy} L c^2, [g^{1/2} \text{ cm}^{3/2} \text{ cek}^{-2}], \\
R_R &= \frac{d L}{v S} c^2, [\text{cm} \text{ cek}^{-1}],
\end{aligned} \tag{20^A}$$

Из уравнений (20^A) следует, что полученная размерность тока, напряжения и сопротивления по размерности совпадает с системой СГСМ.

Из соотношений (2), (20) найдем значение магнитного поля, выраженное через электрические заряды:

$$H = \frac{1}{c} \frac{2I}{R_0} = \frac{4}{c} \frac{p}{R_0} \frac{1}{d} N_{xy} S \frac{v}{d}. \tag{21}$$

Из соотношения (21) следует вывод, что источником магнитного поля является не движущийся электрон, а электрическое поле диполей атомов решетки проводника, возбуждаемые движущимися электронами. И вообще магнитное поле есть особая форма существования электрического поля. Магнитных диполей и зарядов нет. Есть только электрические диполи и заряды. Магнетизм это формализм, который удобно применять в приложениях.

При движении заряда вдоль оси x на него будет действовать поле E_z соотношения (12) цуга набора диполей. При этом проекция вектора скорости частицы на вектор скорости света будет равна $V \sin(\theta)$. С учетом сказанного и рассуждая также, как это было сделано при выводе силы F_x , запишем соотношение для силы F_z :

$$F_z = i_z f = q_1 \frac{4 V_x}{R_0 c^2} N_{xy} S \frac{v}{d} \frac{p}{d} \int_0^\infty \frac{R_0 (2z^2 - R_0^2) dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}}. \tag{22}$$

Вычислим интегралы соотношения (22):

$$2 \int_0^{\infty} \frac{R_0 z^2 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} = \frac{2}{3R_0},$$

$$- \int_0^{\infty} \frac{R_0^3 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} = -\frac{2}{3R_0}.$$
(23)

Подставив значения вычисленных интегралов в соотношение (22), получим нулевое значение силы F_z .

$$F_z=0 \quad (24)$$

Это беспрецедентный случай. Из соотношений известной теории (1), (2) эта сила не равна нулю, она равна $F_z=F_x$. В связи с этим выпишем подробное решение интегралов (23), так как они не являются табличными.

$$2 \int_0^{\infty} \frac{R_0 z^2 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} = 2 \int_0^{\infty} \frac{R_0 dz}{(R_0^2 + z^2)^{3/2}} - 2 \int_0^{\infty} \frac{R_0^3 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} \quad (24)$$

Первый интеграл в соотношении (24) является табличным [4]. Результат решения таков:

$$2 \int_0^{\infty} \frac{R_0 dz}{(R_0^2 + z^2)^{3/2}} = 2 \frac{R_0 z}{R_0^2 (R_0^2 + z^2)^{1/2}} \Bigg|_0^{\infty} = \frac{2}{R_0} \quad (25)$$

Оставшиеся два интеграла соотношения (23), (24) – нетабличные. Используя метод интегрирования по параметру, он сводится к табличному. А после решения он дифференцируется по этому же параметру.

$$-3 \int_0^{\infty} \frac{R_0^3 dz}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} = -3R_0^3 \frac{d}{d(R_0^2)} \int_0^{\infty} dz \int \frac{d(R_0^2)}{(R_0^2 + z^2)^{5/2}} =$$

$$= -3R_0^3 \frac{d}{d(R_0^2)} \int_0^{\infty} dz \left(-\frac{2}{3} \frac{1}{(R_0^2 + z^2)^{3/2}} \right) = 2R_0^3 \frac{d}{d(R_0^2)} \left(\frac{1}{R_0^2} \right) = -\frac{2}{R_0} \quad (26)$$

Сложив результат решения интегралов (25), (26), получим нулевое значение.

Подытожив результат исследований, можно сказать следующее: если пробный заряд движется вдоль бесконечного проводника с током, на него действует сила, направленная перпендикулярно проводнику (18), что совпадает с известным соотношением (1), если заряд движется перпендикулярно бесконечному проводнику с током, на него не действует сила, направленная вдоль проводника с током (24) вопреки известному соотношению (1).

Рассуждая аналогично, найдем силу, действующую на движущийся пробный заряд согласно рис. 3 вдоль оси X в центре круглого замкнутого проводника с током. На него должна действовать сила, направленная вдоль оси Y. Найдем эту силу.

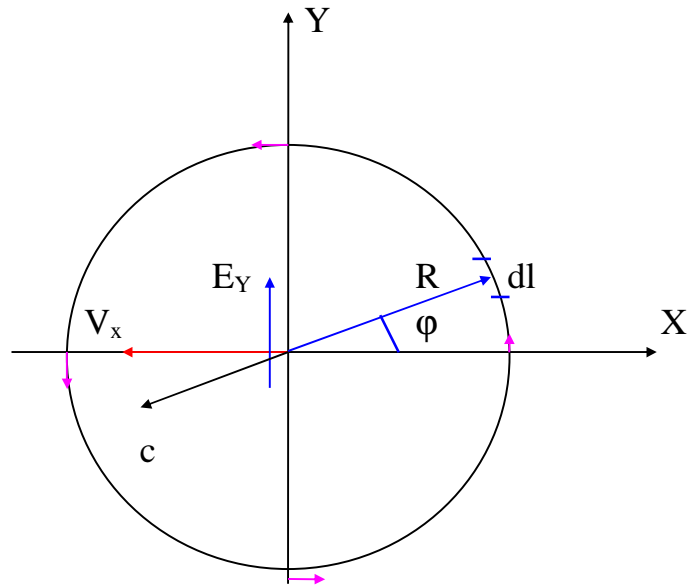


Рис. 3.

Для любого диполя проводника в интервале dl составляющая $E_R=0$, согласно соотношения (8). Составляющая E_θ равна

$$E_\theta(\theta = \pi / 2) = \frac{\ddot{p}}{cR^2} \quad (27)$$

Эта составляющая имеет проекцию на ось Y согласно рис. 3

$$E_Y = E_\theta \cos(\varphi) \quad (28)$$

Проекция вектора скорости частицы на вектор скорости света равна $V_X \cos(\varphi)$.

Интервал dl равен

$$dl = R d\varphi \quad (29)$$

Подставив соотношения (27), (28), (29) в соотношение аналогичное (11), (14) и проинтегрировав по всей длине проводника найдем функцию для импульса силы

$$i_y = q_1 \frac{2V_X}{c^2} \frac{\ddot{p}}{d} N_{xy} S \frac{4}{R} \int_0^{\pi/2} \cos^2(\varphi) d\varphi \quad (30)$$

Соответствующие найденному импульсу сила, магнитное поле, сила тока равны

$$F_Y = i_y f = q_1 \frac{2\pi V_x}{R c^2} \frac{\dot{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d}, \quad (31)$$

$$H = \frac{1}{c} \frac{\pi I}{R} = \frac{2\pi}{cR} \frac{\dot{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d}, \quad (32)$$

$$I = 2 \frac{\dot{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d}. \quad (33)$$

Рассуждая аналогично, найдем функциональную зависимость для магнитного поля, создаваемого круговым витком с током I в произвольной точке оси витка.

$$H = \frac{\pi I}{c} \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}}, \quad (34)$$

где x – расстояние от точки наблюдения до центра витка. Здесь было учтено, что соотношения (27), (28) в данном случае примут вид:

$$E_\theta(\theta = \pi/2) = \frac{\dot{p}}{c(R^2 + x^2)}, \quad V_z \text{Cos}(\varphi) \frac{R}{(R^2 + x^2)^{1/2}}. \quad (35)$$

Теперь рассмотрим, какие силы действуют на движущийся заряд в центре прямоугольного витка (с неравными сторонами) с током.

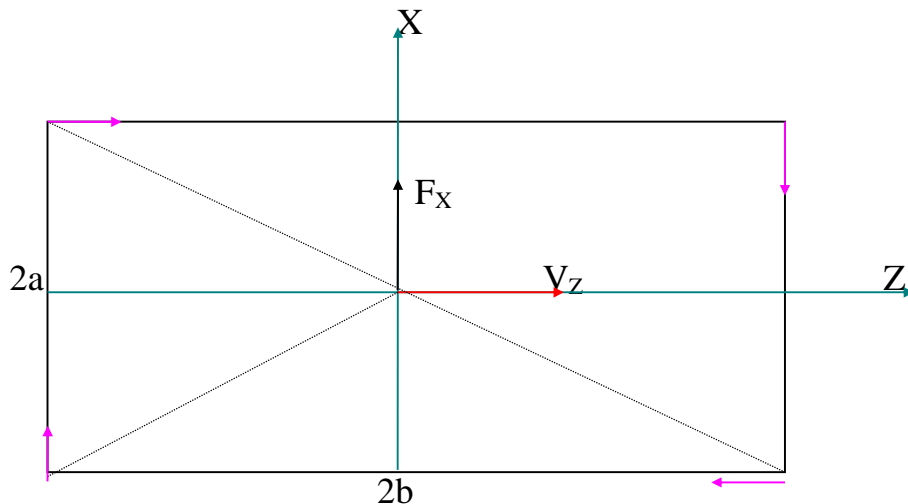


Рис. 4.

Используя методику, примененную при рассмотрении сил взаимодействия с бесконечным проволочником (в данном случае пределы будут конечными), запишем функциональную зависимость для силы F_x , F_z при движении пробного заряда вдоль оси Z и X соответственно.

$$F_x = q_1 \frac{2V_z}{c^2} \frac{\bar{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d} 4 \left(3 \int_0^b \frac{a z^2 dz}{(a^2 + z^2)^{5/2}} - \int_0^a \frac{b(2z^2 - b^2) dz}{(b^2 + z^2)^{5/2}} \right), \quad (36)$$

$$F_z = q_1 \frac{2V_x}{c^2} \frac{\bar{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d} 4 \left(3 \int_0^a \frac{b z^2 dz}{(b^2 + z^2)^{5/2}} - \int_0^b \frac{a(2z^2 - a^2) dz}{(a^2 + z^2)^{5/2}} \right). \quad (37)$$

В соотношениях (36), (37) можно отметить, что заменой пределов $a \rightarrow b, b \rightarrow a$ в интегралах (36) можно получить интегралы (37) и наоборот. Так что достаточно решить интегралы (36). В результате решения будет получен нетривиальный результат, поэтому решение выпишем по-подробнее.

$$\int_0^b \frac{a z^2 dz}{(a^2 + z^2)^{5/2}} = -a^3 \int_0^b \frac{dz}{(a^2 + z^2)^{5/2}} + a \int_0^b \frac{dz}{(a^2 + z^2)^{3/2}}. \quad (38)$$

Второй интеграл в (38) является табличным, выпишем его решение.

$$\int_0^b \frac{dz}{(a^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{z}{a^2(a^2 + z^2)^{1/2}} \Big|_0^b = \frac{b}{a^2(a^2 + b^2)^{1/2}}. \quad (39)$$

Первый интеграл в (38) решается с использованием метода интегрирования по параметру с последующим дифференцированием результата решения.

$$\begin{aligned} \int_0^b \frac{dz}{(a^2 + z^2)^{5/2}} &= -\frac{2}{3} \frac{d}{d(a^2)} \int_0^b \frac{dz}{(a^2 + z^2)^{3/2}} = -\frac{2}{3} \frac{d}{d(a^2)} \left(\frac{b}{a^2(a^2 + b^2)^{1/2}} \right) = \\ &= \frac{b}{3} \left(\frac{3a^2 + 2b^2}{a^4(a^2 + b^2)^{3/2}} \right) \end{aligned} \quad (40)$$

В итоге интеграл (38) равен

$$\int_0^b \frac{a z^2 dz}{(a^2 + z^2)^{5/2}} = -a^3 \frac{b}{3} \frac{3a^2 + 2b^2}{a^4 (a^2 + b^2)^{3/2}} + a \frac{b}{a^2 (a^2 + b^2)^{1/2}} = \frac{1}{3} \frac{b^3}{a (a^2 + b^2)^{3/2}}. \quad (41)$$

Второй интеграл в соотношении (36) решается с использованием решений (41), (40) и заменой $b \rightarrow a$.

$$\begin{aligned} \int_0^a \frac{b(2z^2 - b^2)}{(b^2 + z^2)^{5/2}} dz &= 2b \int_0^a \frac{z^2 dz}{(b^2 + z^2)^{5/2}} - b^3 \int_0^a \frac{dz}{(b^2 + z^2)^{5/2}} = \\ &= \frac{2}{3} \frac{a^3}{b (a^2 + b^2)^{3/2}} - b^3 \frac{a}{3 b^4 (a^2 + b^2)^{3/2}} = - \frac{ab}{(a^2 + b^2)^{3/2}}. \end{aligned} \quad (42)$$

Подставив в соотношение (36) значения вычисленных интегралов (41), (42), найдем функциональную зависимость для силы F_x при движении заряда вдоль оси Z .

$$\begin{aligned} F_x &= q_1 \frac{2V_z}{c^2} \frac{\dot{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d} 4 \left(3 \frac{1}{3} \frac{b^3}{a (a^2 + b^2)^{3/2}} + \frac{ab}{(a^2 + b^2)^{3/2}} \right) = \\ &= q_1 \frac{V_z}{c^2} \frac{\dot{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d} 8 \frac{b(a^2 + b^2)}{a (a^2 + b^2)^{3/2}} = q_1 \frac{V_z}{c^2} 2 \frac{\dot{p}}{d} N_{xy} S \frac{v}{d} \frac{4b}{a (a^2 + b^2)^{1/2}}. \end{aligned} \quad (43)$$

Используя соотношения (36), (37), (43), (33), окончательно можем записать:

$$\begin{aligned} F_x &= q_1 \frac{V_z}{c^2} 4I \frac{\frac{b}{a}}{(a^2 + b^2)^{1/2}}, \\ F_z &= q_1 \frac{V_x}{c^2} 4I \frac{\frac{a}{b}}{(a^2 + b^2)^{1/2}}. \end{aligned} \quad (44)$$

Из функциональной зависимости (44) для сил, действующих на движущийся заряд в центре прямоугольного витка с током, видно, что при различных сторонах прямоугольника ортогональные силы при одной величине скорости заряда имеют различное значение. Для сравнения выпишем формулы для сил (такая же физическая ситуация) из справочника [2]

$$F_x = F_z = q \frac{V}{c^2} 4I \frac{(a^2 + b^2)^{1/2}}{ab}. \quad (45)$$

В соотношении (45) ортогональные силы равны при неравных сторонах прямоугольного витка с током. При сравнении (44) и (45) видно также функциональное различие.

Из соотношений (20^A) можно выяснить физический смысл параметров проводника, таких как сопротивление (1Ω) и падение напряжения на проводнике ($1V$). Частота соударений электронов с атомами решетки в проводнике при протекании через него тока является константой и выражается через сопротивление проводника такой зависимостью.

$$f_e = \frac{v}{d} = \frac{L c^2}{(1\Omega) S}, \quad (46)$$

где L и S – длина и площадь поперечного сечения проводника при его сопротивлении в 1Ω .

Если учесть, что сопротивление проводника прямо пропорционально длине проводника и обратно пропорционально площади сечения, то можно прийти к выводу, что частота соударений является константой химического состава проводника и не зависит от размеров проводника. Для примера найдем частоту соударений электронов с атомами решетки проводника меди. Известно, что медный провод диаметром 0.15 мм, сечением $S=0.0177 \text{ мм}^2$, длиной $L=1\text{м}$ имеет сопротивление 0.99Ω . Размерность сопротивления в 1Ω такова

$$1 \text{ ом} = 10^9 [\text{СГСМ}] = 10^9 [\text{см сек}^{-1}]$$

Если длину, сечение и размерность в см подставить в формулу (46), мы получим частоту соударений электронов с атомами решетки металла меди следующую

$$f_e = \frac{v}{d} \approx 5 \cdot 10^{17} \frac{1}{\text{сек}}. \quad (47)$$

Для примера примем, что постоянная решетки металла меди $d \approx 2.277 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. Такое значение d исходит из значений плотности металла меди и атомной массы. При этом скорость электронов в проводнике из меди есть величина постоянная и равна

$$v \approx 1.1385 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{сек}}, \quad (47^A)$$

т.е. имеет скорость порядка в 3 раза меньше скорости света в вакууме.

Если заряд электрона составляет [5], [6]

$$e = 4.8 \cdot 10^{-10} \text{ ед. [СГСЕ]} = 1.60219 \cdot 10^{-19} \text{ кул [СИ, МКСА]} \quad (48)$$

то можно записать

$$1 \text{ а} = \frac{1 \text{ кул}}{\text{сек}} = \frac{10^{19}}{1.6} \frac{e}{\text{сек}} = n \frac{e}{\text{сек}}, \quad (49)$$

где n – количество электронов, которое должно пересечь площадь сечения проводника за одну секунду

$$n = \frac{10^{19}}{1.6}. \quad (50)$$

При этом количество атомов решетки проводника, расположенных по сечению проводника, равно

$$N = \frac{S}{d^2} = \frac{1.77 \cdot 10^{-4}}{(2.27)^2 \cdot 10^{-16}} = 3.43 \cdot 10^{11}. \quad (51)$$

Отношение количества электронов, пересекающих сечение проводника в одну секунду, к количеству атомов, расположенных по сечению проводника, есть частота соударений атомов металла меди с электронами.

$$f_a = \frac{n}{\text{сек}} \frac{1}{N} = \frac{10^{19}}{1.6 \cdot 3.43 \cdot 10^{11}} \frac{1}{\text{сек}} = 0.466 \cdot 10^8 \frac{1}{\text{сек}}. \quad (52)$$

Вычислим объем проводника, занимаемый электронами, которые имеют скорость \mathbf{v} и пересекают поперечное сечение проводника в одну секунду.

$$S \mathbf{v} \text{ сек} = \frac{1.77 \cdot 10^{-4} \cdot 1.14 \cdot 10^{10} \text{ сек}}{\text{сек}} \text{ см}^3 = 2 \cdot 10^6 \text{ см}^3 \quad (53)$$

Объемная плотность электронов, имеющих скорость \mathbf{v} и силу тока в 1а равна

$$N_{xyz} = \frac{n}{S \mathbf{v} \text{ сек}} = \frac{10^{19}}{1.6 \cdot 2 \cdot 10^6} \frac{1}{\text{см}^3} = 3.125 \cdot 10^{12} \frac{1}{\text{см}^3} \quad (54)$$

Разность потенциалов U в размерностях имеет такое соотношение между единицами [7]

$$U = 1 \mathbf{v} [\text{СИ}] = 10^8 [\text{СГСМ}] \quad (55)$$

Согласно (20^А) можно записать

$$1 \mathbf{v} = U = 2 \frac{\mathbf{p}}{d} N_{xy} L c^2 = 2 \frac{\mathbf{p}}{d} (N_{xyz})^{2/3} L c^2. \quad (56)$$

Подставив в соотношение (56) значения переменных получим

$$10^8 = \frac{2}{2.27 \cdot 10^{-8}} \overline{\overline{p}} (3.12 \cdot 10^{12})^{2/3} \cdot (100) \cdot 9 \cdot 10^{20} = \overline{\overline{p}} \cdot 17 \cdot 10^{36} \quad (57)$$

Из соотношения (57) следует

$$\begin{aligned} \overline{\overline{p}} &= \frac{10^{-28}}{17} q \cdot cm = 5.88 \cdot 10^{-30} q[\text{СГСМ}] \cdot \text{см} = \\ &= 5.88 \cdot 10^{-30} \cdot 10 \text{ кул} \cdot \text{см} = 5.88 \cdot 10^{-31} \text{ кул} \cdot \text{м} = \\ &= 5.88 \cdot 10^{-31} \text{ кул} \cdot \text{м} = 1.76 \cdot 10^{-1} (3.33 \cdot 10^{-30}) \text{ кул} \cdot \text{м} = 1.76 \cdot 10^{-1} \text{ Дебая} \end{aligned} \quad (59)$$

где 1 Дебай = $3.33564 \cdot 10^{-30}$ кул·м, $e = 1.60219 \cdot 10^{-19}$ кул, $q[\text{СГСМ}] = 10$ кул.

Дипольный момент равен

$$\overline{\overline{p}} = q[\text{СИ}] \cdot l' = 5.88 \cdot 10^{-31} \text{ кул} \cdot \text{м} = 5.88 \cdot 10^{-31} \frac{10^{19}}{1.6} e \cdot \text{м} = e \cdot 3.675 \cdot 10^{-12} \text{ м}, \quad (60)$$

откуда следует, что расстояние между зарядами в дипольном моменте атома равно

$$l' = 3.675 \cdot 10^{-12} \text{ м} \quad (61)$$

Длину цуга излучаемого диполями поперечного сечения проводника можно вычислить приблизительно по формуле

$$l \approx c \cdot \tau \cdot N_{xy} \quad S \approx c \cdot \frac{D}{v} \cdot (N_{xyz})^{2/3} S, \quad (62)$$

где D – диаметр атома проводника (в данной работе есть величиной неизвестной).

Напряженность электрического поля, созданная объемной плотностью дипольного момента проводника (имеет размерность напряженности электрического поля в системе СГСМ) выражается через падение напряжения на проводнике следующей зависимостью.

$$E = \frac{U}{L} = 2 \frac{\overline{\overline{p}} N_{xy}}{d} c^2, \quad (63)$$

где L – длина проводника, на котором происходит падение напряжения $1V$. Известно, что падение напряжения на проводнике прямо пропорционально длине проводника, поэтому объемная плотность дипольного момента (63) не зависит от длины проводника. Объемная плотность дипольного момента создает падение напряжения приведенное к длине проводника.

Таким образом, силу тока согласно первого соотношения (20) можно представить как удвоенное произведение поверхностной плотности дипольного момента вдоль сечения проводника, созданной в проводнике за счет движения

электронов, скорости движения электронов и количество ячеек решетки, в которых находятся атомы проводника, вдоль площади сечения проводника.

Исследования, проведенные в данной работе, показали возможность сведения (с приведением доказательств) магнитных явлений к электрическим.

Литература

1. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, Справочник по физике, 442, (1968).
2. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, Справочник по физике, 431, (1968).
3. М. Борн, Э. Вольф, Основы оптики, 109, (1970).
4. И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев, Справочник по математике, 361, (1962).
5. А.В. Беклемишев, Меры и единицы физических величин, 195, 291, (1963).
6. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, Справочник по физике, 913, (1968).
7. Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, Справочник по физике, 905, (1968).
8. А.В. Беклемишев, Меры и единицы физических величин, 198, (1963).