
Хмельник С. И.

Вторая математическая модель шаровой молнии

Аннотация

На основе уравнений Максвелла и представления об электропроводности тела шаровой молнии строится математическая модель шаровой молнии, показывается структура электромагнитного поля и электротоков в ней. Далее показывается (как следствие этой модели), что в шаровой молнии может циркулировать поток электромагнитной энергии и таким образом может сохраняться энергия, полученная шаровой молнией при ее возникновении. Кратко рассматриваются также устойчивость, свечение, заряд, время существования, механизм образования.

Оглавление

1. Введение
 2. Решение уравнений Максвелла в сферических координатах
 3. Энергия
 4. Поток энергии
 5. Об устойчивости шаровой молнии
 6. О свечении шаровой молнии
 7. О времени существования шаровой молнии
 8. О возможном механизме образования шаровой молнии
- Литература

1. Введение

Высказанные гипотезы о природе шаровой молнии неприемлемы, так как они противоречат закону сохранения энергии. Это происходит потому, что свечение шаровой молнии обычно относят за счет энергии, выделяемой при каком-либо молекулярном или химическом превращении, и таким образом предполагают, что источник энергии, за счет которого светится шаровая молния, находится в ней самой.

Капица П.А. 1955 [1]

Это утверждение (насколько известно автору) справедливо и сегодня. Оно усиливается еще и тем, что по современным оценкам, типичная шаровая молния содержит десятки килоджоулей [2], высвобождающихся при ее взрыве.

Общепризнано, что шаровая молния как-то связана с электромагнитными явлениями, однако нет строгого описания этих процессов.

В [8] на основе уравнений Максвелла была предложена математическая модель шаровой молнии, которая позволила объяснить многие свойства шаровой молнии. Однако эта модель оказалась сложной в математическом описании. Ниже предлагается другая математическая модель шаровой молнии, более обоснованная и позволяющая получить менее сложное математическое описание. Кроме того, эта модель согласуется с моделью сферического конденсатора [9].

При построении математической модели мы будем полагать, что шаровая молния представляет собой плазму - газ заряженных частиц - электронов и положительно заряженных ионов, а доля нейтральных атомов в ней пренебрежимо мала, то есть плазма шаровой молнии полностью ионизована. Кроме того, предполагаем, что в этой плазме число положительных зарядов равно числу отрицательных и в целом электрический заряд шаровой молнии равен нулю. В плазме принято рассматривать средние по некоторому элементарному объему плотности заряда и тока. Электрические и магнитные поля, создаваемые «средней» плотностью заряда и «средним» током в плазме, подчиняются уравнениям Максвелла [1]. Эффект столкновений частиц плазмы обычно описывают при помощи функции распределения частиц в плазме. Ниже мы эти эффекты будем учитывать в уравнениях Максвелла, полагая, что плазма обладает некоторым электрическим сопротивлением или проводимостью.

В предлагаемой статье повторены (для удобства читателя) многие фрагменты статьи [8].

2. Решение уравнений Максвелла в сферических координатах

На рис. 1 показана система сферических координат (ρ, θ, φ) . В табл. 1 приведены выражения для ротора и дивергенции вектора E в этих координатах [10]. Здесь и далее

E - напряженность электрического поля,

H - напряженность магнитного поля,

J - плотность тока,

μ - абсолютная магнитная проницаемость,

ε - абсолютная диэлектрическая проницаемость,

σ - электропроводность.

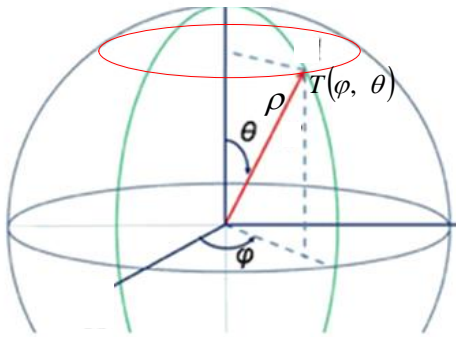


Рис. 1.

Таблица 1.

1	2	3
1	$\text{rot}_\rho(E)$	$\frac{E_\varphi}{\rho \sin(\theta)} + \frac{\partial E_\varphi}{\rho \partial \theta} - \frac{\partial E_\theta}{\rho \sin(\theta) \partial \varphi}$
2	$\text{rot}_\theta(E)$	$\frac{\partial E_\rho}{\rho \sin(\theta) \partial \varphi} - \frac{E_\varphi}{\rho} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial \rho}$
3	$\text{rot}_\varphi(E)$	$\frac{E_\theta}{\rho} + \frac{\partial E_\theta}{\partial \rho} - \frac{\partial E_\rho}{\rho \partial \varphi}$
4	$\text{div}(E)$	$\frac{E_\rho}{\rho} + \frac{\partial E_\rho}{\partial \rho} + \frac{E_\theta}{\rho \sin(\theta)} + \frac{\partial E_\theta}{\rho \partial \theta} + \frac{\partial E_\varphi}{\rho \sin(\theta) \partial \varphi}$

Уравнения Максвелла в сферических координатах в системе СГС при отсутствии нескомпенсированных зарядов показаны в табл. 2.

Таблица 2.

1	2
1.	$\text{rot}_\rho H - \varepsilon \frac{\partial E_\rho}{\partial t} - J_\rho = 0$
2.	$\text{rot}_\theta H - \varepsilon \frac{\partial E_\theta}{\partial t} - J_\theta = 0$
3.	$\text{rot}_\varphi H - \varepsilon \frac{\partial E_\varphi}{\partial t} - J_\varphi = 0$
4.	$\text{rot}_\rho E - \mu \frac{\partial H_\rho}{\partial t} = 0$
5.	$\text{rot}_\theta E - \mu \frac{\partial H_\theta}{\partial t} = 0$
6.	$\text{rot}_\varphi E - \mu \frac{\partial H_\varphi}{\partial t} = 0$
7.	$\text{div}(E) = 0$
8.	$\text{div}(H) = 0$

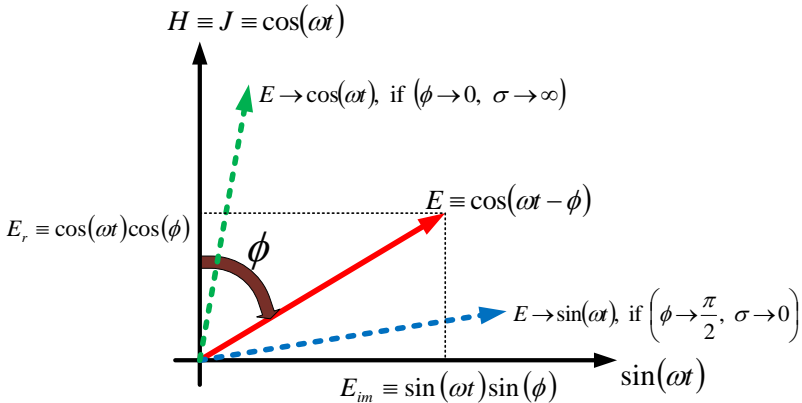


Рис. 2 (Shar1.vsd)

Далее мы будем искать монохроматическое решение этих уравнений. Для этого во временнОй области представим функции E , H , J в следующем виде:

$$H = H_o \cos(\omega t),$$

$$E = E_o (\sin(\omega t) \sin(\phi) + \cos(\omega t) \cos(\phi)),$$

$$J = E_o \sigma \cos(\omega t) \cos(\phi),$$

где ϕ - угол сдвига фаз между электрической и магнитной напряженностями - см. рис. 2. С учетом этого будем искать решение уравнений Максвелла в виде функций E , H , J , представленных в табл. 3, где функции вида $E_{\varphi\rho}(\rho)$ предстоит вычислить. Здесь важно отметить, что эти функции не зависят от аргумента φ .

Таблица 3.

1	2
	$E_\rho = E_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta) (\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t))$
	$E_\theta = E_{\theta\rho}(\rho) \sin(\theta) (\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t))$
	$E_\varphi = E_{\varphi\rho}(\rho) \sin(\theta) (\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t))$
	$H_\rho = H_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta) \cos(\omega t)$
	$H_\theta = H_{\theta\rho}(\rho) \sin(\theta) \cos(\omega t)$
	$H_\varphi = H_{\varphi\rho}(\rho) \sin(\theta) \cos(\omega t)$

В [9] показано, что такое решение существует при

$$H_{\theta\rho} = \frac{A}{2\rho} (\sin(q_1(\rho - R) + \beta_1) + \sin(q_2(\rho - R) + \beta_2)), \quad (1)$$

$$H_{\varphi\rho} = \frac{-A}{2\rho} (\cos(q_1(\rho - R) + \beta_1) + \cos(q_2(\rho - R) + \beta_2)), \quad (2)$$

$$H_{\rho\rho} = \frac{-A}{\rho^2} \left(\frac{1}{q_1} \cos(q_1(\rho - R) + \beta_1) + \frac{1}{q_2} \cos(q_2(\rho - R) + \beta_2) \right), \quad (3)$$

$$E_{\theta\rho} = \frac{A}{2\rho} (g_1 \cos(q_1(\rho - R) + \beta_1) + g_2 \cos(q_2(\rho - R) + \beta_2)), \quad (4)$$

$$E_{\varphi\rho} = \frac{A}{2\rho} (g_1 \sin(q_1(\rho - R) + \beta_1) + g_2 \sin(q_2(\rho - R) + \beta_2)), \quad (5)$$

$$E_{\rho\rho} = \frac{A}{\rho^2} (w_1 \sin(q_1(\rho - R) + \beta_1) + w_2 \sin(q_2(\rho - R) + \beta_2)), \quad (6)$$

где

$$q_1 = \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu \varepsilon}, \quad (7)$$

$$q_2 = \frac{\omega}{c} \sqrt{\mu \varepsilon \sigma \cdot \cos(\phi)}. \quad (8)$$

$$g_1 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}, \quad (9)$$

$$g_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon \cdot \sigma \cdot \cos(\phi)}}, \quad (10)$$

$$w_1 = \frac{c}{\omega \varepsilon}, \quad (11)$$

$$w_2 = \frac{c}{\omega \varepsilon \sigma \cdot \cos(\phi)}. \quad (12)$$

A, β_1, β_2 - некоторые константы.

В [9] показано, что вместо пары векторов \vec{H}_φ и \vec{H}_θ можно рассматривать один суммарный вектор

$$\vec{H}_{\varphi\theta} = \vec{H}_\varphi + \vec{H}_\theta, \quad (13)$$

который лежит в плоскости, касательной к сфере радиусом ρ , и направлен под углом ψ к линии параллели. Модуль этого вектора и угол ψ определяются следующими формулами:

$$|\vec{H}_{\varphi\theta}| = \frac{A}{2\rho}, \quad (14)$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\omega}{c}(\rho - R) - \beta, \quad (15)$$

где R - радиус шара и $\beta = \beta_1 = \beta_2$. Из (14) и табл. 3 следует, что

$$H_{\varphi\theta} = |H_{\varphi\theta}| \sin(\theta) \cos(\omega t) = \frac{A}{2\rho} \sin(\theta) \cos(\omega t). \quad (16)$$

Аналогичные соотношения существуют для векторов \vec{E}_φ и \vec{E}_θ , а именно:

$$|\vec{E}_{\varphi\theta}| = \frac{A}{2\rho}, \quad (17)$$

$$\psi_e = \frac{\omega}{c}(\rho - R) - \beta, \quad (18)$$

или

$$\psi_e = \frac{\pi}{2} - \psi. \quad (19)$$

Из (17) и табл. 3 следует, что

$$E_{\varphi\theta} = \frac{A}{2\rho} \sin(\theta) (\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t)). \quad (20)$$

На рис. 3 показаны векторы \vec{H}_φ , \vec{H}_θ , \vec{E}_φ , \vec{E}_θ , $\vec{H}_{\varphi\theta}$, $\vec{E}_{\varphi\theta}$, исходящие из точки T с координатами (φ, θ) . Угол между векторами $\vec{H}_{\varphi\theta}$ и $\vec{E}_{\varphi\theta}$ в плоскости P является прямым.

Итак, в шаре можно рассматривать только один вектор электрической напряженности $\vec{E}_{\varphi\theta}$ и только один вектор магнитной напряженности $\vec{H}_{\varphi\theta}$. Поскольку эти векторы лежат на сфере, будем называть их сферическими. Таким образом, в шаре существуют только сферические $\vec{H}_{\varphi\theta}$, $\vec{E}_{\varphi\theta}$ и радиальные \vec{H}_ρ и \vec{E}_ρ напряженности. На рис. 4 показаны векторы $\vec{H}_{\varphi\theta}$ и $\vec{E}_{\varphi\theta}$, лежащие на плоскости P, и векторы \vec{H}_ρ и \vec{E}_ρ , лежащие на радиусе.

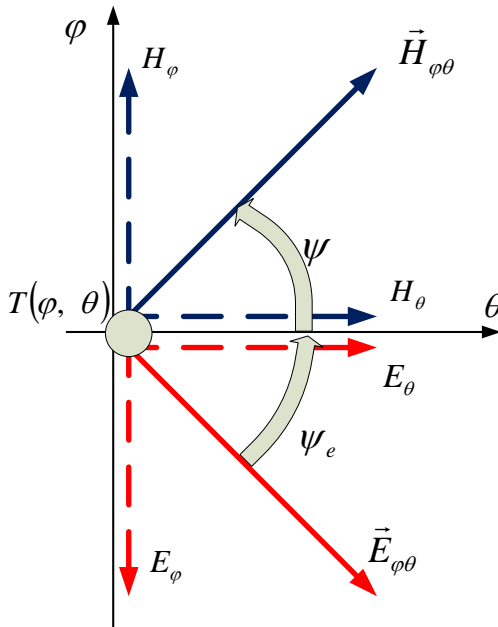


Рис. 3 (Sfera110.vsd).

Напомним, что это решение получено при следующих предположениях: сфера электропроводна и нейтральна (не имеет нескомпенсированных зарядов). Это решение, очевидно, не является единственным. Его существование означает только, что в электропроводной и нейтральной сфере может существовать электромагнитная волна и циркулировать токи.

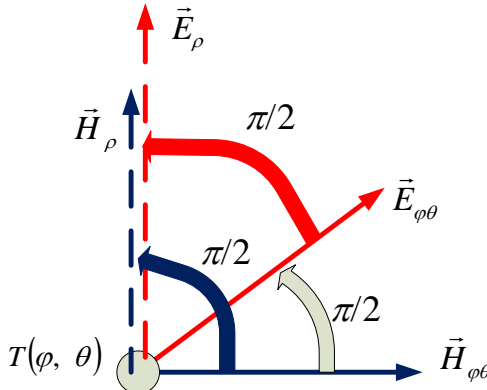


Рис. 4 (Sfera3a.vsd).

3. Энергия

Из табл. 3 следует, что в шаровой молнии имеются

- активная энергия потерь W_a – см. второе слагаемое электрической напряженности;
- реактивная электрическая энергия W_e – см. первое слагаемое электрической напряженности,
- реактивная магнитная энергия W_h – см. магнитную напряженность.

Запишем эти величины:

$$W_a = (\sigma \cos(\phi) \cos(\omega t))^2 \iint_{\rho, \theta} \left((E_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta))^2 + \sin^2(\theta) ((E_{\theta\rho}(\rho))^2 + (E_{\varphi\rho}(\rho))^2) \right) d\rho d\theta, \quad (21)$$

$$W_e = (\sin(\phi) \sin(\omega t))^2 \iint_{\rho, \theta} \left((E_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta))^2 + \sin^2(\theta) ((E_{\theta\rho}(\rho))^2 + (E_{\varphi\rho}(\rho))^2) \right) d\rho d\theta, \quad (22)$$

$$W_h = (\cos(\omega t))^2 \iint_{\rho, \theta} \left((H_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta))^2 + \sin^2(\theta) ((H_{\theta\rho}(\rho))^2 + (H_{\varphi\rho}(\rho))^2) \right) d\rho d\theta. \quad (23)$$

Очевидно, что амплитуды энергий W_e и W_h могут быть равны при некоторых значениях констант A , β_1 , β_2 - некоторые константы – см. (1-6). При этом энергии W_e и W_h преобразуются друг в друга – см. множители $(\sin(\omega t))^2$ и $(\cos(\omega t))^2$ в формулах (22, 23). Следовательно, в полученном решении выполняется закон сохранения энергии для шаровой молнии в целом.

Вместе с тем из табл. 3 следует, что в каждой точке шара этот закон не выполняется. Следовательно, существуют перетоки энергии между точками шара. Ниже мы докажем это строго.

4. Поток энергии

4.1. Радиальный поток энергии.

В каждой точке сферы существует поток электромагнитной энергии, направленный по радиусу – см. рис. 5. Вектор плотности этого потока равен

$$\vec{S}_\rho = \vec{E}_{\varphi\theta} \times \vec{H}_{\varphi\theta}. \quad (24)$$

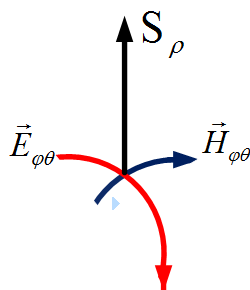


Рис. 5.

Поскольку векторы $\vec{E}_{\varphi\theta}$, $\vec{H}_{\varphi\theta}$ перпендикулярны, то из (16, 20) находим:

$$|\vec{S}_\rho| = |\vec{E}_{\varphi\theta}| |\vec{H}_{\varphi\theta}| = \frac{A^2}{4\rho^2} (\sin(\theta)(\sin(\phi)\sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi)\cos(\omega t)))(\sin(\theta)\cos(\omega t))$$

или

$$|\vec{S}_\rho| = \frac{A^2}{4\rho^2} \sin^2(\theta) \cos(\omega t) (\sin(\phi)\sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi)\cos(\omega t))$$

или

$$|\vec{S}_\rho| = \frac{A^2}{4\rho^2} \sin^2(\theta) \left(\frac{1}{2} \sin(\phi) \sin(2\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos^2(\omega t) \right) \quad (25)$$

В частности, при $\sigma = 0$ имеем: $\sin(\phi) = 1$ и

$$|\vec{S}_\rho| = \frac{A^2}{8\rho^2} \sin^2(\theta) \sin(2\omega t). \quad (26)$$

4.2. Сферический поток энергии.

В каждой точке сферы существуют также два потока электромагнитной энергии, направленных по касательной к сфере – см. рис. 6. Вектор плотности этих потоков равен

$$\vec{S}_1 = \vec{E}_{\varphi\theta} \times \vec{H}_\rho, \quad (27)$$

$$\vec{S}_2 = \vec{H}_{\varphi\theta} \times \vec{E}_\rho. \quad (28)$$

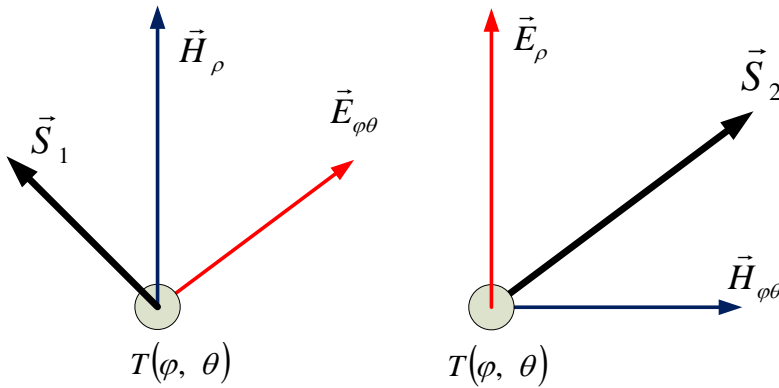


Рис. 6.

Поскольку умножаемые векторы перпендикулярны, то из (14, 16, 20) и табл. 3 находим:

$$|\vec{S}_1| = |\vec{E}_{\varphi\theta}| |\vec{H}_\rho| = \frac{A}{2\rho} \sin(\theta) (\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t)) \bullet$$

$$\bullet H_\rho(\rho) \cos(\theta) \cos(\omega t)$$

$$|\vec{S}_2| = |\vec{H}_{\varphi\theta}| |\vec{E}_\rho| = \frac{A}{2\rho} \sin(\theta) \cos(\omega t) \bullet$$

$$\bullet E_\rho(\rho) \cos(\theta) (\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t))$$

или

$$|\vec{S}_1| = \frac{A}{2\rho} H_\rho(\rho) \sin(\theta) \cos(\theta) \cos(\omega t) \left(\frac{\sin(\phi) \sin(\omega t) + \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t)}{\cos(\omega t)} \right),$$

$$|\vec{S}_2| = \frac{A}{2\rho} E_{\rho\rho}(\rho) \sin(\theta) \cos(\theta) \cos(\omega t) \left(\begin{array}{l} \sin(\phi) \sin(\omega t) + \\ \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t) \end{array} \right).$$

Поскольку эти потоки перпендикулярны, то модуль их суммы определяется по формуле

$$S_3 = |\vec{S}_1 + \vec{S}_2| = \left(\begin{array}{l} \frac{A}{2\rho} \sqrt{(H^2_{\rho\rho}(\rho) + E^2_{\rho\rho}(\rho))} \bullet \\ \bullet \sin(\theta) \cos(\theta) \cos(\omega t) \left(\begin{array}{l} \sin(\phi) \sin(\omega t) + \\ \sigma \cos(\phi) \cos(\omega t) \end{array} \right) \end{array} \right) \quad (29)$$

В частности, при $\sigma = 0$ имеем: $\sin(\phi) = 1$ и

$$S_3 = |\vec{S}_1 + \vec{S}_2| = \left(\begin{array}{l} \frac{A}{2\rho} \sqrt{(H^2_{\rho\rho}(\rho) + E^2_{\rho\rho}(\rho))} \bullet \\ \bullet \sin(\theta) \cos(\theta) \cos(\omega t) \sin(\omega t) \end{array} \right)$$

или

$$S_3 = |\vec{S}_1 + \vec{S}_2| = \left(\begin{array}{l} \frac{A}{8\rho} \sqrt{(H^2_{\rho\rho}(\rho) + E^2_{\rho\rho}(\rho))} \bullet \\ \bullet \sin(2\theta) \sin(2\omega t) \end{array} \right) \quad (30)$$

Учитывая (3, 6) при $\sigma = 0$, получаем:

$$S_3 = \frac{A^2 \sqrt{2}}{8\rho^3 q_1} \sin(2\theta) \sin(2\omega t). \quad (31)$$

4.3. Полный поток энергии.

Из (26, 30) найдем дивергенцию потока электромагнитной энергии при $\sigma = 0$:

$$\begin{aligned} \operatorname{div}(S_\rho + S_3) &= \frac{\partial S_\rho}{\partial \rho} + \frac{\partial S_3}{\partial \theta} = \\ &= \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\frac{A^2}{8\rho^2} \sin^2(\theta) \sin(2\omega t) \right) + \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{A^2 \sqrt{2}}{8\rho^3 q_1} \sin(2\theta) \sin(2\omega t) \right) = \\ &= \frac{-2A^2}{8\rho^3} \sin^2(\theta) \sin(2\omega t) + \frac{2A^2 \sqrt{2}}{8\rho^3 q_1} \cos(2\theta) \sin(2\omega t) = \\ &= \frac{A^2}{4\rho^3} \left(\frac{\sqrt{2}}{q_1} \cos^2(\theta) - \left(\frac{\sqrt{2}}{q_1} + 1 \right) \sin^2(\theta) \right) \sin(2\omega t) \end{aligned} \quad (32)$$

Учитывая (7), замечаем, что $\frac{\sqrt{2}}{q_1} \gg 1$. Тогда из (32) находим:

$$\operatorname{div}(S_\rho + S_3) = \frac{A^2 \sqrt{2}}{4\rho^3 q_1} \cos(2\theta) \sin(2\omega t). \quad (33)$$

Эта дивергенция суммарного потока электромагнитной энергии не равна нулю во многих точках шара. Это означает, что поток энергии, проходящий через точку, **не** равен нулю в общем случае. Следовательно, между точками шара существует обмен энергией. Однако для шара в целом соблюдается (как указывалось выше) закон сохранения энергии. Таким образом, в шаровой молнии

- соблюдается закон сохранения энергии,
- существует поток электромагнитной энергии.

5. Об устойчивости шаровой молнии

Вопрос об устойчивости тел, в которых циркулирует поток электромагнитной энергии, рассмотрен в [3].

Здесь мы рассмотрим только силу, которая действует по диаметру и разрывает шаровую молнию по диаметральной плоскости, перпендикулярной этому диаметру. В первый момент она должна совершить работу

$$A = F \frac{dR}{dt}. \quad (34)$$

Эта работа изменяет внутреннюю энергию шаровой молнии, т.е.

$$A = \frac{dW}{dt}. \quad (35)$$

Рассматривая (34, 35) совместно находим:

$$F = \frac{dW}{dt} \bigg/ \frac{dR}{dt}. \quad (36)$$

Если энергия шаровой молнии пропорциональна объему, т.е.

$$W = aR^3. \quad (37)$$

где a – коэффициент пропорциональности, то

$$\frac{dW}{dt} = 3aR^2 \frac{dR}{dt}. \quad (38)$$

Тогда

$$F = \frac{dW}{dt} \bigg/ \frac{dR}{dt} = 3aR^2 = \frac{3W}{R}. \quad (39)$$

Таким образом, внутренняя энергия шаровой молнии эквивалентна силе, создающей устойчивость шаровой молнии.

6. О свечении шаровой молнии

Выше задача была решена с учетом электрического сопротивления шаровой молнии. Естественно, оно не равно нулю и при протекании токов по этому сопротивлению в нем выделяется тепловая энергия. Эта тепловая энергия излучается, что и является причиной свечения шаровой молнии.

7. О времени существования шаровой молнии

Можно полагать, что энергия шаровой молнии равна амплитудному значению электрической энергии, т.е., как следует из (22),

$$W = \sin^2(\phi) \iint_{\rho, \theta} \left((E_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta))^2 + \sin^2(\theta) \left((E_{\theta\rho}(\rho))^2 + (E_{\phi\rho}(\rho))^2 \right) \right) d\rho d\theta. \quad (40)$$

Мощность тепловых потерь равна производной по времени от энергии тепловых потерь. В (23) показана мгновенная энергия тепловых потерь. Следовательно,

$$P = \sqrt{2}(\sigma \cos(\phi))^2 \iint_{\rho, \theta} \left((E_{\rho\rho}(\rho) \cos(\theta))^2 + \sin^2(\theta) \left((E_{\theta\rho}(\rho))^2 + (E_{\phi\rho}(\rho))^2 \right) \right) d\rho d\theta. \quad (41)$$

Время существования шаровой молнии равно времени преобразования электрической энергии молнии в тепловые потери, т.е.

$$\tau = \frac{W}{P}. \quad (42)$$

Из (40-42) находим:

$$\tau = \frac{\sin^2(\phi)}{\sqrt{2}(\sigma \cos(\phi))^2} = \frac{\operatorname{tg}^2(\phi)}{\sqrt{2}\sigma^2}. \quad (43)$$

8. О возможном механизме образования шаровой молнии

Лидер линейной молнии, встречая какое-либо препятствие, может изменить траекторию движения с прямолинейной на

круговую. Это может служить причиной возникновения тех электромагнитных полей и электротоков, которые описаны выше.

Вот как описывается этот процесс в [4]

Очередной сильнейший разряд молнии, одновременный с грохотом, осветил всё пространство. Я вижу, как длинный ослепительный луч цвета солнца приближается ко мне прямо в солнечное сплетение. Конец его острый, чем дальше, тем толще, примерно 0,5 метра в длину. Дальше я не вижу, потому что смотрю под углом вниз.

Мгновенная мысль, это конец. Я смотрю, как острие луча приближается. Вдруг оно остановилось и между острием и телом начал вспухать шар, размером с большой грейпфрут. Раздался хлопок, как при вылете пробки из бутылки шампанского. Луч влетел в шар. Я вижу ослепительно яркий шар, цвета солнца, который вращается с бешеной скоростью, перемалывая луч внутри. Но я не чувствую ни прикосновения, ни тепла.

Шар перемалывал луч и увеличивался в размерах. ... Шар не издавал никаких звуков. Сначала он был ярким и непрозрачным, а затем начал тускнеть и я увидел, что он пуст. Его оболочка изменилась и он стал похож на мыльный пузырь. Оболочка вращалась, но ее диаметр оставался стабильным, а поверхность отливала металлом.

Литература

1. Капица П.Л. О природе шаровой молнии. ДАН СССР 1955. Том 1.
2. http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Шаровая_молния
3. Хмельник С. И. К вопросу о внутриядерных силах. «Доклады независимых авторов», ISSN 2225-6717, 2014, вып. 27, ISBN 978-1-312-19894-4, printed in USA, Lulu Inc., ID 14739921; а также: Vixra Funding, <http://vixra.org/abs/1405.0296>, 2014-05-24
4. Анатолий Мякеляйнен (Финляндия), Валерий Буераков (Украина). Полет на шаровой молнии, https://drive.google.com/file/d/0B4rZDrYTBG_pMFZ1RFNOd2hSTDA/edit
5. Хмельник С.И. К теории хранителя вечного движения. «Доклады независимых авторов», ISSN 2225-6717, <http://dna.izdatelstwo.com/>, 2013, № 23 - см. [здесь](#); а также: Vixra Funding, <http://vixra.org/abs/1404.0086>, 2014-04-11.
6. Хмельник С.И. Вариационный принцип экстремума в электромеханических и электродинамических системах. Publisher by “MiC”, printed in USA, Lulu Inc., ID 1769875, Израиль, 2008, ISBN 978-0-557-04837-3.

-
7. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
 8. Хмельник С.И. Математическая модель шаровой молнии, "Доклады независимых авторов", ISSN 2225-6717, <http://dna.izdatelstwo.com/>, № 33, 2015 - см. [здесь](#); а также: Vixra Funding, <http://vixra.org/abs/1503.0076>, 2015-03-11; а также: Vixra Funding, Mathematical Model of Ball Lightning, <http://vixra.org/abs/1503.0065>, 2015-03-09.
 9. Хмельник С.И. Электромагнитная волна в сферическом конденсаторе и природа Земного магнетизма, Vixra Funding, <http://vixra.org/abs/1604.0355>, 2016-04-28.