

**Хмельник С.И.**

## Спиральная структура электромагнитных волн и стационарных электромагнитных полей

### Аннотация

Рассматривается новое решение уравнений Максвелла, из которого следует, что электромагнитные волны и стационарные электромагнитные поля имеют спиральную структуру

### Содержание

1. Вступление
  2. Характеристика нового решения уравнений Максвелла
  3. Пример: цилиндрическая волна в вакууме
- Литература

### 1. Вступление

Система уравнений Максвелла является одним из величайших открытий человеческого разума. В то же время известные решения этой системы уравнений обладают рядом недостатков. Достаточно сказать, что эти решения не удовлетворяют закону сохранения энергии. Такие решения позволяют некоторым авторам усомниться в достоверности самих уравнений Максвелла. Подчеркнем, однако, что эти **сомнительные результаты следуют только из известного решения**. Но решение уравнений Максвелла может быть иным (уравнения в частных производных имеют, как правило, несколько решений). И необходимо найти такое решение, которое не противоречит физическим законам и эмпирически установленным фактам.

Автор нашел новое решение системы уравнений Максвелла, свободное от указанных недостатков [1-4]. Это решение найдено для уравнений Максвелла, записанных в покоординатной форме, и не может быть получено в векторном виде из уравнений Максвелла, записанных в векторной форме. Это, видимо, и послужило причиной того, что предлагаемое решение до сих пор не было получено.

## 2. Характеристика нового решения уравнений Максвелла

На основе нового решения уравнений Максвелла теоретически предсказана и экспериментально подтверждена спиральная структура электромагнитных волн и стационарных электромагнитных полей, а также показано, что спиральные структуры существуют во всех без исключения волнах и технических устройствах. Спиральность структур выражается в том, что по координатным напряженности электрических и магнитных волн и полей изменяются в зависимости от координат и времени (для волн) по синусоидальным функциям.

Для иллюстрации на рис. 1 показана винтовая линия данного радиуса, на которой напряженность сохраняет постоянное значение. На рис. 2 показаны винтовые линии для различных значений радиуса. Прямыми линиями показаны геометрические места точек с равной фазой.

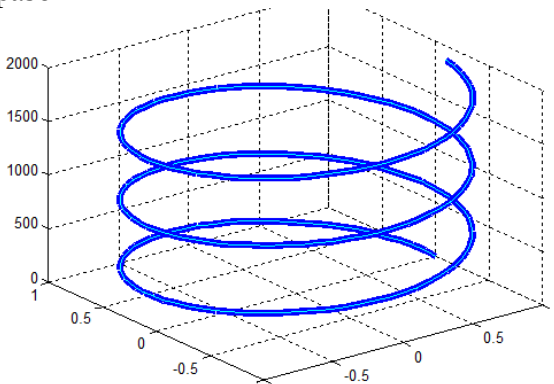


Рис. 1.

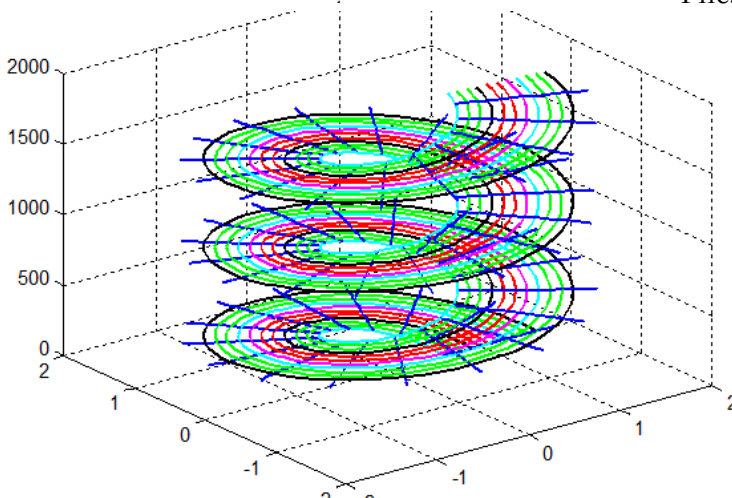


Рис. 2.

На рис. 3 показаны в декартовых координатах электрические  $E$  и магнитные напряженности  $H$  волны.

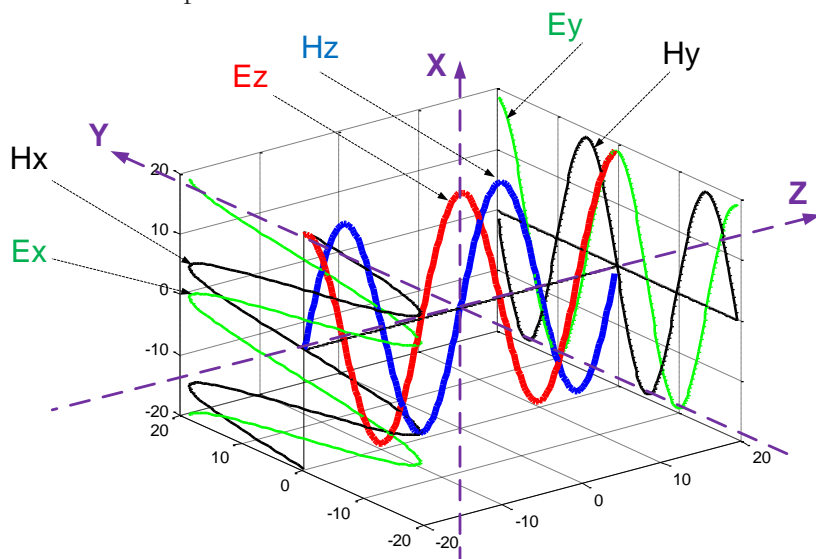


Рис. 3.

Теоретические предсказания обосновываются тем, что эти функции таковы, что

- не противоречат закону сохранения энергии в каждый момент времени (а не в среднем), т.е. устанавливают постоянство плотности потока электромагнитной энергии во времени,
- выявляют сдвиг фаз между электрическими и магнитными напряженностями не только в технических устройствах, но и в волнах,
- объясняют существование потока энергии вдоль и внутри (а не снаружи) провода, равного потребляемой мощности,
- объясняют закрученность света, т.е. появление орбитального углового момента, при котором поток энергии не просто летит вперед, а крутится вокруг оси движения - см. рис. 4, где на среднем фрагменте показан незакрученный свет, а на верхнем и нижнем фрагментах – свет, закрученный в ту или иную сторону. Можно сравнить этот рис. 4 с рис. 2, построенном на основе найденного решения.

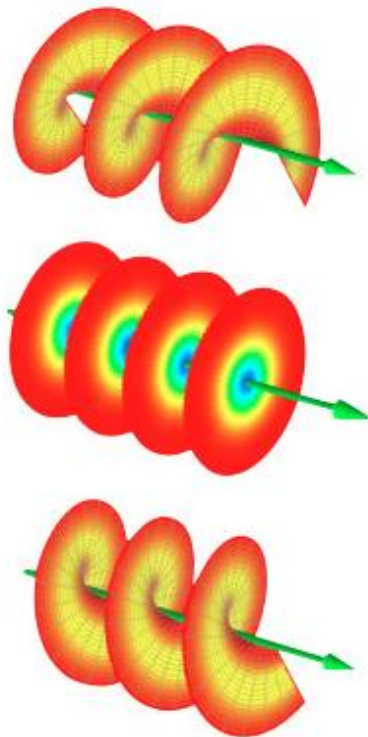


Рис. 4.

Теоретические предсказания, как следствие решения уравнений Максвелла, подтверждаются экспериментальными наблюдениями и объяснениями экспериментов, которые до сих пор не были обоснованы, в т.ч.

- сохранение величины мгновенной (а не в среднем) электромагнитной энергии в волне,
- сдвиг фаз между электрическими и магнитными напряженностями не только в технических устройствах, но и в волнах,
- закрученность света, т.е. появление орбитального углового момента, при котором поток энергии не просто летит вперед, а крутится вокруг оси движения,
- существование потока энергии вдоль и внутри (а не снаружи) провода, равного потребляемой мощности,
- существование э.д.с., необъяснимых электромагнитной индукцией,

- сохранение энергии в диэлектрике конденсатора, освобожденного от обкладок,
- вращающий момент в проводе и двигатель Мильроя,
- однопроводная передача энергии,
- постоянное восстановление энергии магнита,
- плазменный кристалл,
- поток электромагнитной энергии внутри провода,
- момент импульса в магните,
- заряд конденсатора продольным магнитным полем,
- заряд конденсатора круговым магнитным полем,
- э.д.с. в проводе, находящемся в неоднородном продольном магнитном поле,
- э.д.с. в проводе, находящемся в круговом магнитном поле,
- э.д.с. в проводе, находящемся в поперечном магнитном поле,
- магнитное поле в заряженном конденсаторе,
- неэлектромагнитная индукция (как следствие магнитодвижущей силы),
- продольная магнитная напряженность в полости трубчатого проводника,
- поток энергии, как электродвижущая сила,
- природа потенциальной энергии конденсатора,
- сохранение энергии в замкнутом магнитопроводе.

### 3. Пример: цилиндрическая волна в вакууме

Рассмотрим в качестве примера решение системы уравнений Максвелла для цилиндрической волны в вакууме. Здесь рассматриваются уравнения Максвелла в системе СГС следующего вида:

$$\operatorname{rot}(E) + \frac{\mu}{c} \frac{\partial H}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

$$\operatorname{rot}(H) - \frac{\varepsilon}{c} \frac{\partial E}{\partial t} = 0, \quad (2)$$

$$\operatorname{div}(E) = 0, \quad (3)$$

$$\operatorname{div}(H) = 0, \quad (4)$$

где  $H$ ,  $E$  - магнитная и электрическая напряженности соответственно,  $J$  - токи смещения.

В системе цилиндрических координат  $r, \varphi, z$  эти уравнения имеют вид:

$$\frac{E_r}{r} + \frac{\partial E_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial E_\varphi}{\partial z} = v \frac{dH_r}{dt}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial E_r}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial r} = v \frac{dH_\varphi}{dt}, \quad (3)$$

$$\frac{E_\varphi}{r} + \frac{\partial E_\varphi}{\partial r} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial E_r}{\partial \varphi} = v \frac{dH_z}{dt}, \quad (4)$$

$$\frac{H_r}{r} + \frac{\partial H_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial H_\varphi}{\partial z} = q \frac{dE_r}{dt}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial H_r}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial r} = q \frac{dE_\varphi}{dt} \quad (7)$$

$$\frac{H_\varphi}{r} + \frac{\partial H_\varphi}{\partial r} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} = q \frac{dE_z}{dt}, \quad (8)$$

где

$E_r, E_\varphi, E_z$  - электрические напряженности,

$H_r, H_\varphi, H_z$  - магнитные напряженности,

$$v = -\mu/c, \quad (9)$$

$$q = \varepsilon/c, \quad (10)$$

Для сокращения записи в дальнейшем будем применять следующие обозначения:

$$co = \cos(\alpha\varphi + \chi z + \omega t), \quad (11)$$

$$si = \sin(\alpha\varphi + \chi z + \omega t), \quad (12)$$

где  $\alpha, \chi, \omega$  - некоторые константы. Представим неизвестные функции в следующем виде:

$$H_{r \cdot} = h_r(r)co, \quad (13)$$

$$H_{\varphi \cdot} = h_\varphi(r)si, \quad (14)$$

$$H_{z \cdot} = h_z(r)si, \quad (15)$$

$$E_{r \cdot} = e_r(r)si, \quad (16)$$

$$E_{\varphi \cdot} = e_\varphi(r)co, \quad (17)$$

$$E_z = e_z(r)co, \quad (18)$$

где  $h(r)$ ,  $e(r)$  - некоторые функции координаты  $r$ .

Непосредственной подстановкой можно убедиться, что функции (13-18) преобразуют систему уравнений (1-8) с четырьмя аргументами  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$ ,  $t$  в систему уравнений с одним аргументом  $r$  и неизвестными функциями  $h(r)$ ,  $e(r)$ . Эта система уравнений имеет следующий вид:

$$\frac{e_r(r)}{r} + e'_r(r) - \frac{e_\varphi(r)}{r} \alpha - \chi \cdot e_z(r) = 0, \quad (21)$$

$$-\frac{1}{r} \cdot e_z(r) \alpha + e_\varphi(r) \chi - \frac{\mu\omega}{c} h_r = 0, \quad (22)$$

$$e_r(r) \chi - e'_z(r) + \frac{\mu\omega}{c} h_\varphi = 0, \quad (23)$$

$$\frac{e_\varphi(r)}{r} + e'_\varphi(r) - \frac{e_r(r)}{r} \cdot \alpha + \frac{\mu\omega}{c} h_z = 0, \quad (24)$$

$$\frac{h_r(r)}{r} + h'_r(r) + \frac{h_\varphi(r)}{r} \alpha + \chi \cdot h_z(r) = 0, \quad (25)$$

$$\frac{1}{r} \mathbf{h}_z(r) \propto -\mathbf{h}_\varphi(r) - \frac{\varepsilon\omega}{c} \mathbf{e}_r(r) = \mathbf{0}, \quad (26)$$

$$-\mathbf{h}_r(r) \chi - \dot{\mathbf{h}}_z(r) + \frac{\varepsilon\omega}{c} \mathbf{e}_\varphi(r) = \mathbf{0}, \quad (27)$$

$$\frac{h_\varphi(r)}{r} + \dot{\mathbf{h}}_\varphi(r) + \frac{-h_r(r)}{r} \alpha + \frac{\varepsilon\omega}{c} \mathbf{e}_r(r) = \mathbf{0}, \quad (28)$$

Плотность потока электромагнитной энергии – вектор Пойнтинга

$$S = \eta E \times H, \quad (28a)$$

где

$$\eta = c/4\pi. \quad (28b)$$

В цилиндрических координатах  $r$ ,  $\varphi$ ,  $z$  плотность потока электромагнитной энергии имеет три компоненты  $S_r$ ,  $S_\varphi$ ,  $S_z$ , направленные вдоль радиуса, по окружности, вдоль оси соответственно. Они определяются по формуле

$$S = \begin{bmatrix} S_r \\ S_\varphi \\ S_z \end{bmatrix} = \eta \begin{bmatrix} E_\varphi H_z - E_z H_\varphi \\ E_z H_r - E_r H_z \\ E_r H_\varphi - E_\varphi H_r \end{bmatrix}. \quad (29)$$

или, с учетом предыдущих формул,

$$S_r = \eta (e_\varphi h_z - e_z h_\varphi) co \cdot si \quad (30)$$

$$S_\varphi = \eta(e_z h_r \text{co}^2 - e_r h_z \text{si}^2) \tag{31}$$

$$S_z = \eta(e_r h_\varphi \text{si}^2 - e_\varphi h_r \text{co}^2) \tag{32}$$

Предположим, что эти плотности потоков энергии удовлетворяют закону сохранения энергии, если

$$h_r = k e_r, \tag{33}$$

$$h_\varphi = -k e_\varphi. \tag{34}$$

$$h_z = -k e_z. \tag{35}$$

Из (30, 34, 35) следует, что

$$S_r = \eta(-e_\varphi k e_z + k e_z e_\varphi) \text{co} \cdot \text{si} = 0, \tag{36}$$

т.е. отсутствует радиальный поток энергии.

Из (31, 33, 15) следует, что

$$S_\varphi = \eta(e_z k e_r \text{co}^2 + k e_r e_z \text{si}^2) = \eta k e_r e_z, \tag{37}$$

т.е. плотность потока энергии по окружности на данном радиусе не зависит от времени и других координат.

Из (32, 33, 34) следует, что

$$S_z = \eta k e_r h_\varphi (\text{si}^2 + \text{co}^2) = \eta k e_r h_\varphi, \tag{38}$$

т.е. плотность потока энергии по вертикали при данном радиусе не зависит от времени и других координат. Эти утверждения и были целью предположений (12-14).

Выполним замену переменных по (33-35) в уравнениях (21-28) и перепишем их, не меняя нумерации:

$$\frac{e_r}{r} + \dot{e}_r - \frac{e_\varphi}{r} \alpha - \chi e_z = 0, \tag{41}$$

$$-\frac{e_z}{r} \alpha + e_\varphi \chi - \frac{\mu\omega}{c} k e_r = 0, \tag{42}$$

$$-\dot{e}_z + e_r \chi - k \frac{\mu\omega}{c} e_\varphi = 0, \tag{43}$$

$$\frac{e_\varphi}{r} + \dot{e}_\varphi - \frac{e_r}{r} \alpha - k \frac{\mu\omega}{c} e_z = 0, \tag{44}$$

$$k \frac{e_r}{r} + k \dot{e}_r - k \frac{e_\varphi}{r} \alpha - k \chi e_z = 0, \tag{45}$$

$$-k \frac{e_z}{r} \alpha + k e_\varphi \chi - \frac{\varepsilon\omega}{c} e_r - \frac{4\pi}{c} j_r = 0, \tag{46}$$

$$k \dot{e}_z - k e_r \chi + \frac{\varepsilon\omega}{c} e_\varphi - \frac{4\pi}{c} j_\varphi = 0, \tag{47}$$

$$-k \frac{e_\varphi}{r} - k \dot{e}_\varphi + k \frac{e_r}{r} \alpha + \frac{\varepsilon\omega}{c} e_z - \frac{4\pi}{c} j_z = 0. \tag{48}$$



Можно заметить, что уравнения (41) и (45) совпадают и поэтому уравнение (45) можно удалить из системы уравнений.

Далее предположим, что продольная волна отсутствует, т.е.  $\mathbf{E}_z = \mathbf{0}$ . Отсюда и из (18) следует, что  $\mathbf{e}_z = \mathbf{0}$ . Тогда система уравнений (41-44, 46-48) принимает вид:

$$\frac{e_r}{r} + \dot{e}_r - \frac{e_\varphi}{r} \alpha = 0, \quad (41)$$

$$e_\varphi \chi - \frac{\mu\omega}{c} k e_r = 0, \quad (42)$$

$$e_r \chi - k \frac{\mu\omega}{c} e_\varphi = 0, \quad (43)$$

$$\frac{e_\varphi}{r} + \dot{e}_\varphi - \frac{e_r}{r} \alpha = 0, \quad (44)$$

$$k e_\varphi \chi - \frac{\varepsilon\omega}{c} e_r = 0, \quad (46)$$

$$-k e_r \chi + \frac{\varepsilon\omega}{c} e_\varphi = 0, \quad (47)$$

$$-k \frac{e_\varphi}{r} - k \dot{e}_\varphi + k \frac{e_r}{r} \alpha = 0. \quad (48)$$

В этой системе уравнений уравнения (44) и (48) совпадают. Следовательно, необходимо решить систему 6-ти уравнений (41-44, 46, 47) с 5-ю неизвестными  $\mathbf{e}_r, \mathbf{e}_\varphi, \mathbf{k}, \alpha, \chi$ .

Из (42, 46) находим

$$\frac{\mu\omega}{c} \mathbf{k} = \frac{\varepsilon\omega}{c\mathbf{k}} \quad (49)$$

или

$$\mathbf{k} = \pm \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \quad (50)$$

Из (42, 50) находим

$$e_\varphi = \frac{\mu\omega}{c\chi} k e_r = \pm \frac{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}{c\chi} e_r. \quad (51)$$

Из (43, 47) также находим (49, 50), а из (43, 50) находим

$$e_\varphi = \frac{\chi c}{k\mu\omega} e_r = \pm \frac{\chi c}{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}} e_r. \quad (52)$$

Из (51, 52) находим

$$\frac{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}{c\chi} = \frac{\chi c}{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}} \quad (53)$$

или

$$\frac{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}{c\chi} = \pm 1, \quad (54)$$

$$\chi = \mp \frac{\omega\sqrt{\varepsilon\mu}}{c}. \quad (55)$$

Из (52, 55) находим

$$e_r = -e_\varphi, \tag{56}$$

При (56) уравнения (41) и (44) совпадают и принимают вид:

$$\frac{e_\varphi}{r}(\alpha + 1) + \dot{e}_\varphi = 0. \tag{57}$$

Решение уравнения (57) имеет вид

$$e_\varphi = Ar^{(\alpha+1)}, \tag{58}$$

где  $A$  – некоторая константа. Таким образом, при данных  $A, \alpha$  по (58, 56, 50,33, 34) можно найти напряженности  $e_r, e_\varphi, h_r, h_\varphi$  как функции от  $r$ .

Выше показано, что радиальный поток энергии равен нулю. При  $e_z = 0$  из (35, 37) следует, что поток энергии по окружности также равен нулю. Из (35, 38, 56) найдем плотность продольного потока энергии

$$S_z = \eta k e_r h_\varphi = -\eta k e_r k e_\varphi = \eta k^2 e_\varphi^2. \tag{59}$$

Из (59, 58, 50) находим

$$S_z = \frac{\eta \epsilon}{\mu} A^2 r^{2(\alpha+1)} \tag{60}$$

Найдем теперь поток энергии в цилиндрической волне радиуса  $R$ , который равен мощности  $P$ , переносимой этой волной:

$$P = \int_0^R S_z 2\pi r dr = \frac{2\pi\eta\epsilon A^2}{\mu} \int_0^R r^{(2\alpha+3)} dr$$

или

$$P = -\frac{\eta\epsilon A^2}{(2\alpha+4)\mu} R^{2\alpha+4}. \tag{61}$$

Таким образом, при данных  $A, \alpha, R$  по (61) можно найти передаваемую мощность. С другой стороны, при данных  $P, R$  и напряженности  $e_\varphi(R)$  из (61, 58) можно найти  $A, \alpha$  и далее по (58, 56, 50,33, 34) найти все напряженности  $e_r, e_\varphi, h_r, h_\varphi$  как функции от  $r$ .

### Литература

1. Inconsistency Solution of Maxwell's Equations  
 Publisher by “MiC”, printed in USA, Lulu Inc. ISBN  
 9781365239410, 2018, 214p.,  
<http://doi.org/10.5281/zenodo.1401462>
2. Непротиворечивое решение уравнений Максвелла

Publisher by “MiC”, printed in USA, Lulu Inc. ISBN  
9781329960749, 2018, 206p.,

<http://doi.org/10.5281/zenodo.1346334>

3. Variational Principle of Extremum in Electromechanical and  
Electrodynamic Systems

Publisher by “MiC”, printed in USA, Lulu Inc. ISBN  
9780557082315, 2014, 347p.,

<http://doi.org/10.5281/zenodo.1310729>

4. Вариационный принцип экстремума в электромеханических и  
электродинамических системах

Publisher by “MiC”, printed in USA, Lulu Inc. ISBN  
9780557082315, 2014, 360p.,

<http://doi.org/10.5281/zenodo.1310760>