Серия: **ФИЗИКА**

Хмельник С.И.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1493-6630

Волновое уравнение - НЕ уравнение электромагнитной волны

Аннотация

Показывается, что волновое уравнение только в первом приближении можно считать уравнением электромагнитной волны, и для нее предлагается новое уравнение, которое также следует из системы уравнений Максвелла. В этом уравнении демонстрируется строгое соблюдение закона сохранения энергии, сдвиг фаз между электрическими и магнитными напряженностями, преобразование энергии из магнитной в электрическую и обратно, закрученность электромагнитной волны.

Прежде всего заметим, что система уравнений Максвелла (СУМ) является системой дифференциальных уравнений и поэтому может иметь множество правильных математических решений. Среди них могут быть такие, которые соответствуют экспериментам и физическим законам, и такие, которые противоречат экспериментам и физическим законам. Волновое уравнение – из числа последних.

Решение СУМ для вакуума должно

1. не противоречить закону сохранения энергии **в каждый момент времени**, т.е. устанавливают постоянство плотности потока электромагнитной энергии во времени,
2. демонстрировать **сдвиг фаз** между электрическими и магнитными напряженностями,
3. демонстрировать **преобразование энергии** из магнитной в электрическую и обратно,
4. объяснять **закрученность света**, т.е. появление орбитального углового момента, при котором поток энергии не просто летит вперед, а крутится вокруг оси движения.

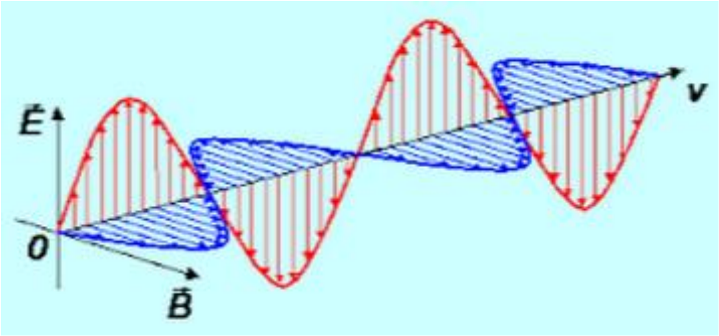

Рис. 1.

Однако решение в виде волнового уравнения

1. противоречит закону сохранения энергии, т.к. в нем поток энергии изменяется во времени и сохраняет свою величину только в среднем, что в принципе нельзя считать соблюдением закона сохранения – см. рис. 1;

2. демонстрирует синфазность электрической и магнитной напряженностей – см. рис. 1;

3. не объясняет закрученность света,

В [1] найдено решение уравнений Максвелла для вакуума в **цилиндрической** системе координат $\{r, \varphi, z\}$, которое имеет следующий вид:

$$H_r. = h_r(r)\mathrm{co}, \tag{1}$$
$$H_\varphi. = h_\varphi(r)\mathrm{si}, \tag{2}$$
$$H_z. = h_z(r)\mathrm{si}, \tag{3}$$
$$E_r. = e_r(r)\mathrm{si}, \tag{4}$$
$$E_\varphi. = e_\varphi(r)\mathrm{co}, \tag{5}$$
$$E_z. = e_z(r)\mathrm{co}, \tag{6}$$

где

$$\mathrm{co} = \cos(\alpha\varphi + \chi z + \omega t), \tag{7}$$
$$\mathrm{si} = \sin(\alpha\varphi + \chi z + \omega t), \tag{8}$$
$$\chi = \omega\sqrt{\mu\varepsilon}/c, \tag{9}$$
$$e_z(r) = 0, \tag{10}$$
$$h_z(r) = 0, \tag{11}$$
$$e_r(r) = e_\varphi(r) = 0.5Ar^{(\alpha-1)}, A - \mathrm{const}, \tag{12}$$
$$h_\varphi(r) = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_r(r), \tag{13}$$
$$h_r(r) = -\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_r(r), \tag{14}$$

$$A, \alpha, \omega - \text{const}.$$

Эта же система уравнений в прямоугольной системе координат $\{x, y, z\}$ имеет вид

$$E_x = e_x \sin\big((\alpha + 1)\varphi + \chi z + \omega t\big), \tag{15}$$

$$E_y = e_y \cos\big((\alpha - 1)\varphi + \chi z + \omega t\big), \tag{16}$$

$$H_x = h_x \cos\big((\alpha + 1)\varphi + \chi z + \omega t\big), \tag{17}$$

$$H_y = h_y \sin\big((\alpha - 1)\varphi + \chi z + \omega t\big), \tag{18}$$

где

$$e_x(r) = e_y(r) = 0.5 A r^{(\alpha-1)}, \tag{19}$$

$$h_x(r) = h_y(r) = -\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_x(r), \tag{20}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \tag{21}$$

$$\varphi = \operatorname{arctg}(y/x). \tag{22}$$

В этих решениях

- плотность потока энергии вдоль координаты z на каждом радиусе $\boldsymbol{r}$ сохраняет свое значение в каждый момент времени – соблюдается закон сохранения энергии,
- геометрическим местом точек равной напряженности (магнитной или электрической) на каждом радиусе является спираль – см. рис. 2
- наблюдается сдвиг фаз между электрическими и магнитными напряженностями– см. рис. 3,
- наблюдается закрученность электромагнитной волны – см. рис. 4.

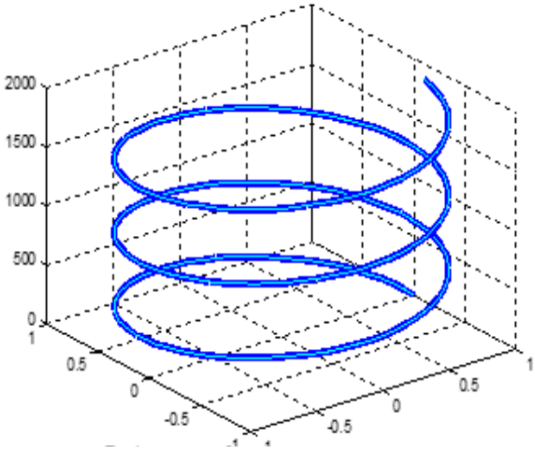

Рис. 2.

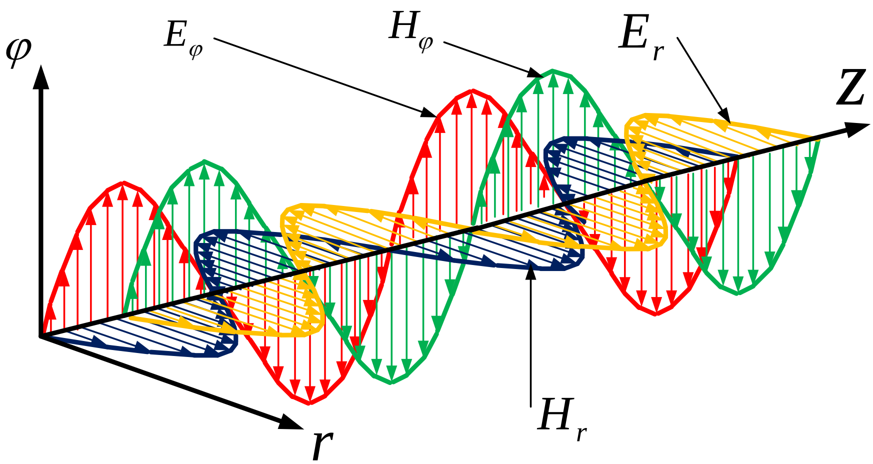

Рис. 3.

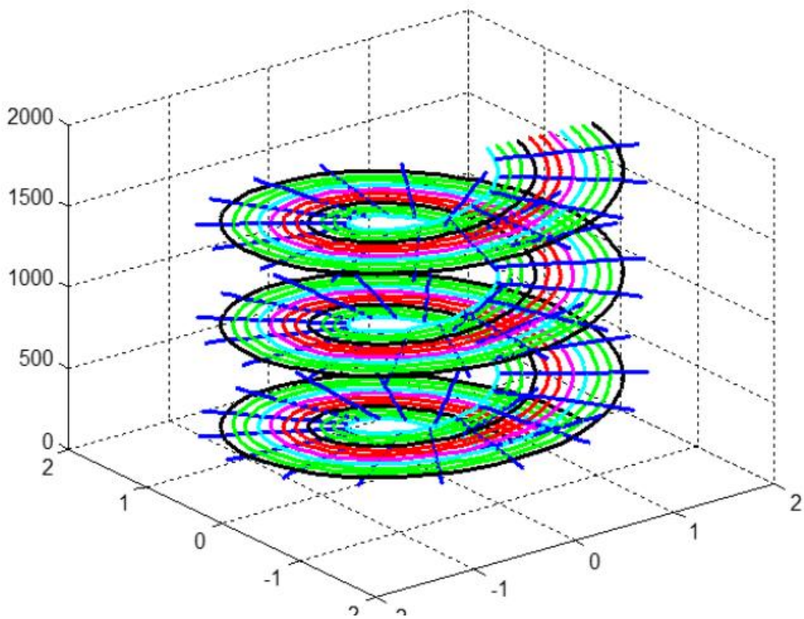

Рис. 4.

Рассмотрим еще **сферическую** систему координат $\{\rho, \theta, \varphi\}$**.** В этом случае решение уравнений Максвелла для вакуума в дальней зоне имеет следующий вид:

$$E_\varphi = e_\varphi \mathrm{Kh}(\rho, \theta) \sin(\propto \varphi + \chi\rho + \omega t), \tag{23}$$

$$E_\theta = e_\theta \mathrm{Kh}(\rho, \theta) \cos(\propto \varphi + \chi\rho + \omega t), \tag{24}$$

$$E_\rho = 0, \tag{25}$$

$$H_\varphi = h_\varphi \mathrm{Kh}(\rho,\theta)\cos(\propto\varphi + \chi\rho + \omega t), \tag{26}$$
$$H_\theta = h_\theta \mathrm{Kh}(\rho,\theta)\sin(\propto\varphi + \chi\rho + \omega t), \tag{27}$$
$$H_\rho = 0, \tag{28}$$

где $\mathrm{Kh}(\rho,\theta)$ - определенная функция, $e_\varphi, e_\theta, h_\varphi, h_\theta$ - константы, причем

$$h_\varphi = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_\theta, \tag{29}$$
$$h_\theta = \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} e_\varphi, \tag{30}$$
$$\chi = \frac{\omega}{c}\sqrt{\varepsilon\mu}. \tag{31}$$

На рис. 5 показаны спирали – геометрические места точек, где плотности электрической напряженности при умножении на ρ остаются постоянными. Эти спирали лежат на конусе с углом θ. Показаны несколько таких конусов.

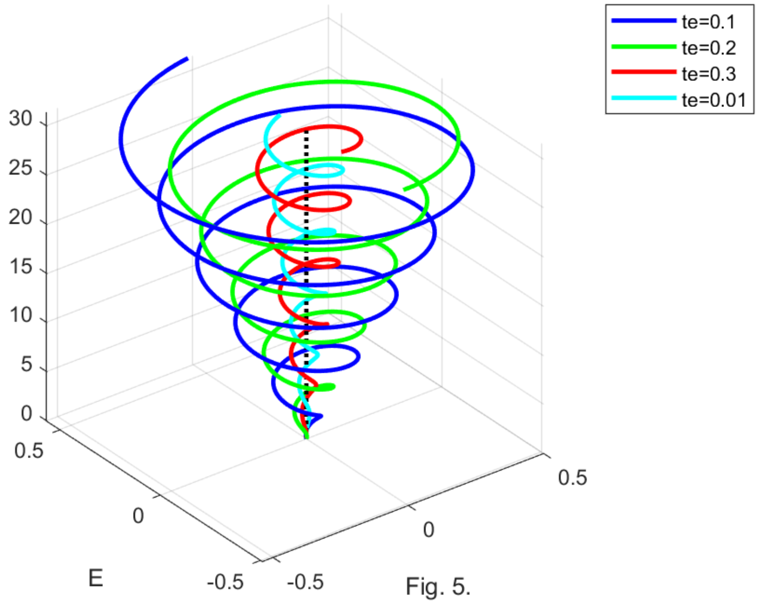

Fig. 5.

В этом решении

- плотность потока энергии, проходящего сквозь сферу, **<u>не</u>** <u>зависит от радиуса и не зависит от времени</u>, т.е. этот поток имеет одну и ту же величину на сферической поверхности любого радиуса в любой момент времени; иначе говоря, поток энергии, направленный вдоль радиуса, сохраняет свою величину с увеличением радиуса и не зависит от времени, что соответствует закону сохранения энергии;

- наблюдается сдвиг фаз между электрическими и магнитными напряженностями;
- наблюдается закрученность электромагнитной волны.

Громадное количество теоретических выводов в электродинамике сделано на основе использования волнового уравнения. Эти выводы получены с нарушением закона сохранения энергии и с этим приходилось мириться. Теперь, когда найдено точное решение уравнений Максвелла, необходимо пересмотреть и уточнить ранее полученные результаты. Это необходимо потому, что некоторые результаты могут оказаться принципиально неверными (а не только ошибочными с некоторой погрешностью).

Литература

1. Хмельник С.И. Непротиворечивое решение уравнений Максвелла. 19-ая редакция, 2021, ISBN 978-1-329-96074-9. Printed in USA, Lulu Inc., ID 18555552, http://doi.org/10.5281/zenodo.4453280