

6. Myhrvold, N. Modernist cuisine at Home / N. Myhrvold, M. Bilet. – Белвью: The Cooking Lab, 2012. – 464 с. – ISBN: 978-0-9827610-1-4.

7. Myhrvold, N. Modernist cuisine – The art and science of cooking. Vol.1 – History and Fundamentals / N. Myhrvold, M. Bilet. – Белвью: The Cooking Lab, 2011. – 355 с. – ISBN: 978-0-9827610-0-7.

8. Myhrvold, N. Modernist cuisine – The art and science of cooking. Vol.5 – Plated-dish recipes/ N. Myhrvold, C.Young, M. Bilet. – Белвью: The Cooking Lab, 2011. – 416 с. – ISBN: 978-0-9827610-0-7.

9. Левашева Е. Практические основы кулинарного искусства / Е. Левашева. – Москва : ЭКСМО, 2014. – 528 с. - ISBN: 978-5-17 077218-6.

10. Myhrvold, N. Modernist cuisine – The art and science of cooking. Vol.2 – Techniques and Equipment / N. Myhrvold, C.Young, M. Bilet. – Белвью: The Cooking Lab, 2011. – 437 с. – ISBN: 978-0-9827610-0-7.

11. Myhrvold, N. Modernist cuisine – The art and science of cooking. Vol.3 – Animals and plants / N. Myhrvold, C.Young, M. Bilet. – Белвью: The Cooking Lab, 2011. – 401 с. – ISBN: 978-0-9827610-0-7.

ИССЛЕДОВАНИЕ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МУЛЬТИПОЛЬНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Вавилова В.С.

Аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассмотрены выражения, позволяющие провести расчет углового распределения мультипольного излучения. Представлены кривые распределения интенсивности дипольного излучения в зависимости от полярного угла.

ABSTRACT

In this paper, we consider expressions that allow calculating the angular distribution of multipole radiation. The curves of the intensity distribution of dipole radiation depending on the polar angle are presented.

Ключевые слова: телесный угол, орбитальный угловой момент, мультиполя, ортогональность.

Keywords: solid angle, orbital angular momentum, multipole, orthogonality.

Среднее по времени значение мощности излучения в единицу телесного угла равно [1]

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{c}{8\pi k^2} \left[\sum_{l,m} (-i)^{l+1} [a_E(l,m)X_{lm} \times n + a_m(l,m)X_{lm}] \right]^2. \quad (1)$$

Поляризация излучения определяется направлениями векторов, входящих под знак модуля. Угловые распределения излучения для мультиплльных моментов электрического и магнитного типов с одинаковыми (l,m) совпадают, тогда как поляризация излучения в этих случаях отличается поворотом векторов на угол 90° . Таким образом, порядок мультиполя может быть лпределен из измерений углового распределения излучаемой мощности, а характер излучения (электрический или магнитный тип) можно установить лишь на основе поляризационных измерений.

Для отдельного мультиполя порядка (l,m) выражение для углового распределения сводится к одному члену

$$\frac{dP(l,m)}{d\Omega} = \frac{c}{8\pi k^2} [a_E(l,m)]^2 [X_{lm}]^2. \quad (2)$$

Используя определение для $X_{l,m}$

$$X_{l,m}(\theta, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{l(l+1)}} LY_{lm}(\theta, \varphi) \quad (3)$$

И следующие соотношения

$$\begin{aligned} L_+ Y_{lm} &= \sqrt{(l-m)(l+m+1)} Y_{l,m+1}, \\ L_- Y_{lm} &= \sqrt{(l+m)(l-m+1)} Y_{l,m-1}, \\ L_2 Y_{lm} &= m Y_{lm}. \end{aligned} \quad (4)$$

Выражение можно развернуть:

$$\frac{dP(l,m)}{d\Omega} = \frac{c|a(l,m)|^2}{8\pi k^2 l(l+1)} \left\{ \frac{1}{2}(l-m)(l-m+l)|Y_{l,m+1}|^2 + \right. \\ \left. + \frac{1}{2}(l+m)(l-m+l)|Y_{l,m-1}|^2 + m^2|Y_{lm}|^2 \right\} \quad (5)$$

простейшие угловые распределения представлены в следующей таблице.

Таблица 1. Угловые распределения мультипольного излучения

	$ X_{l,m}(\theta, \varphi) ^2$		
	$m=0$	$m=\pm 1$	$m=\pm 2$
$l=1$ (Диполь)	$\frac{3}{8\pi} \sin^2 \theta$	$\frac{3}{16\pi} (1 + \cos^2 \theta)$	
$l=2$ (Квадруполь)	$\frac{15}{8\pi} \sin^2 \theta \cos^2 \theta$	$\frac{5}{8\pi} (1 - 3\cos^2 \theta + 4\cos^4 \theta)$	$\frac{5}{16\pi} (1 - 4\cos^4 \theta)$

Дипольные распределения соответствуют диполью, осциллирующему параллельно оси z ($m=0$), или двум диполям, колеблющимся соответственно вдоль осей x и y со сдвигом фазы на 90° ($m=\pm 1$) [2]. На рисунке 1 представлены кривые распределения интенсивности дипольного излучения в зависимости от полярного угла. Приведены кривые распределения мультиполей с $l=1$.

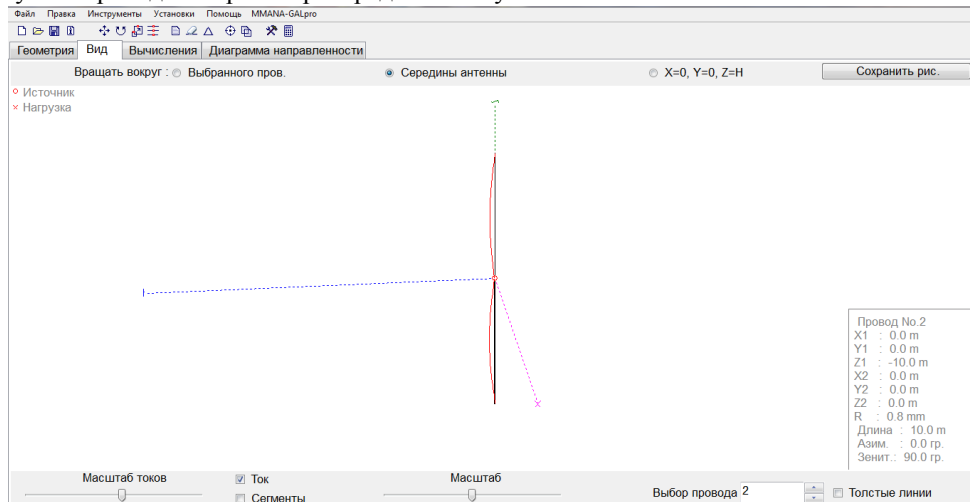


Рисунок 1. Вид диполя с $l=1$, $m=0$

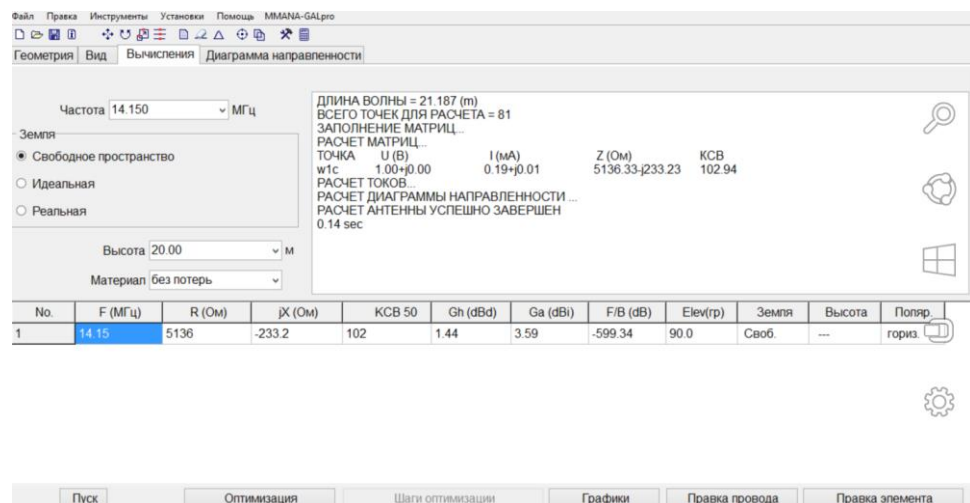


Рисунок 2. Расчет диаграммы направленности диполя с $l=1$, $m=0$

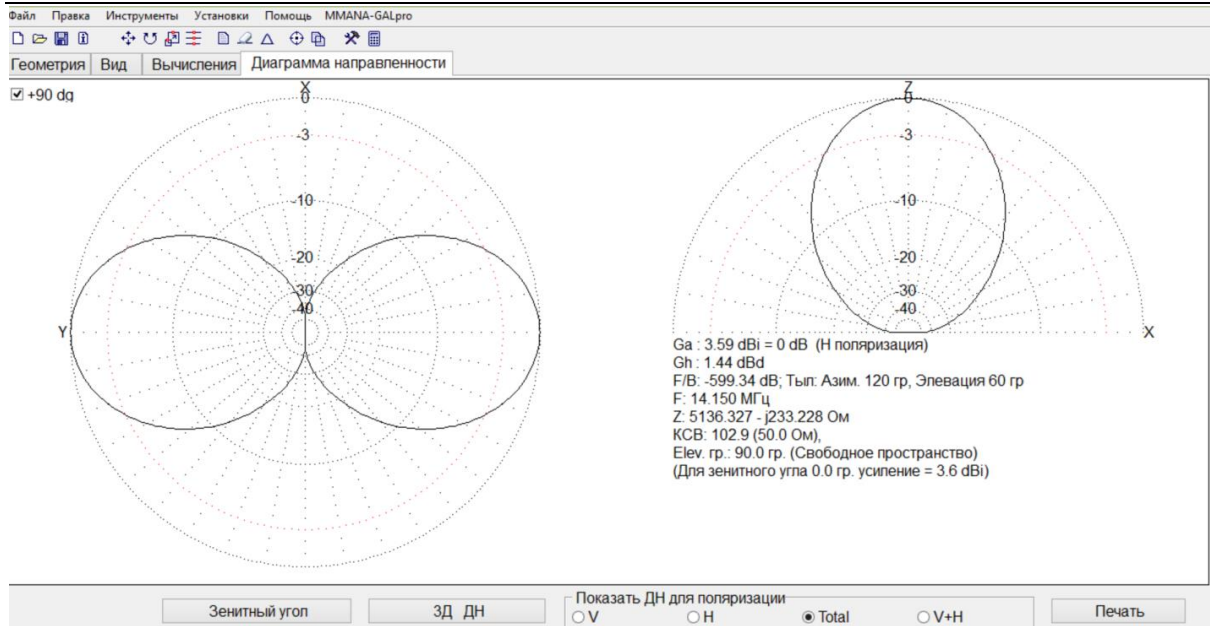


Рисунок 3. Диаграмма направленности диполя с $l = 1, m = 0$

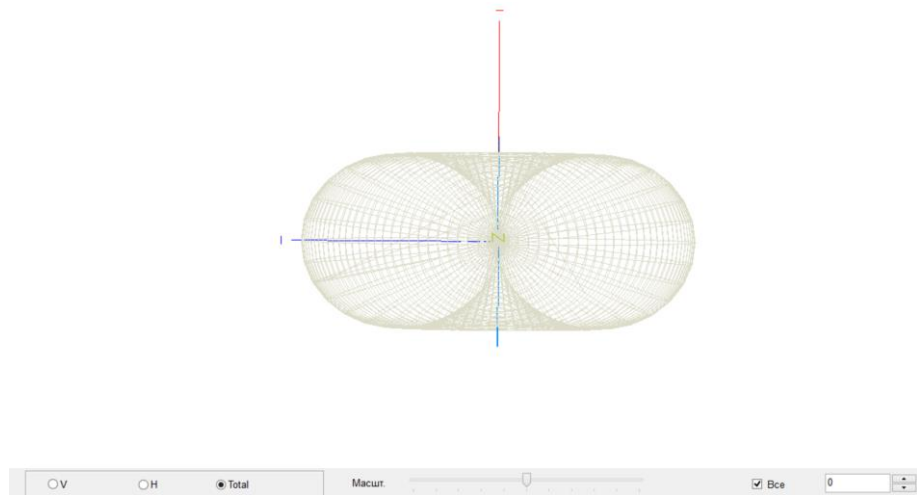


Рисунок 4. Трехмерная диаграмма направленности диполя с $l = 1, m = 0$

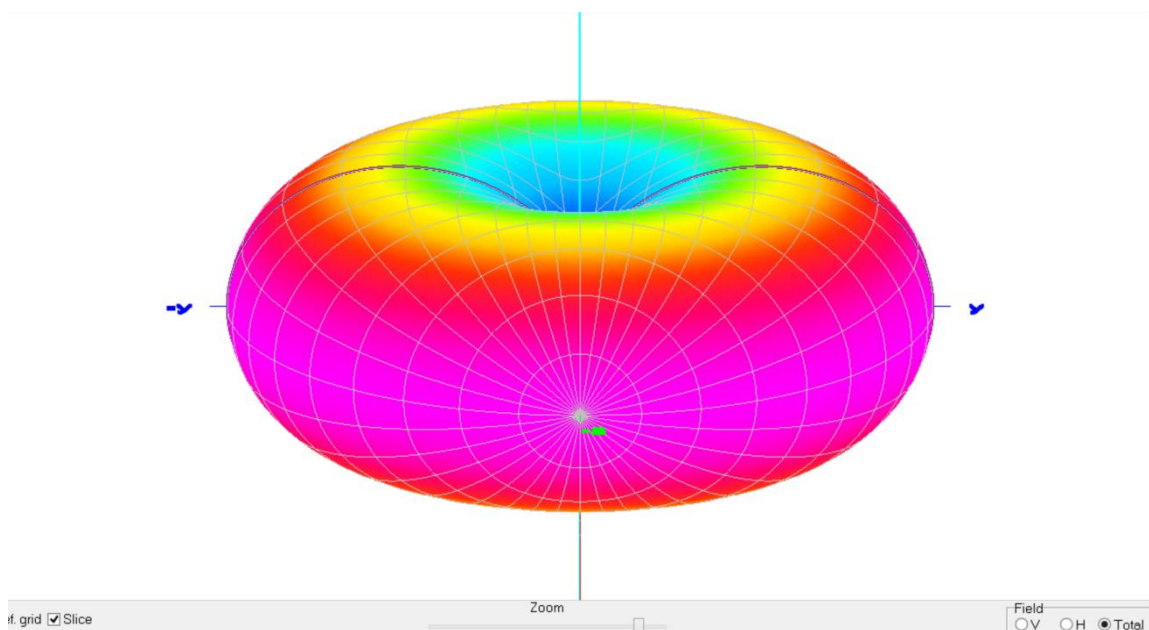


Рисунок 5. Трехмерная диаграмма распределения поля с $l = 1, m = 0$

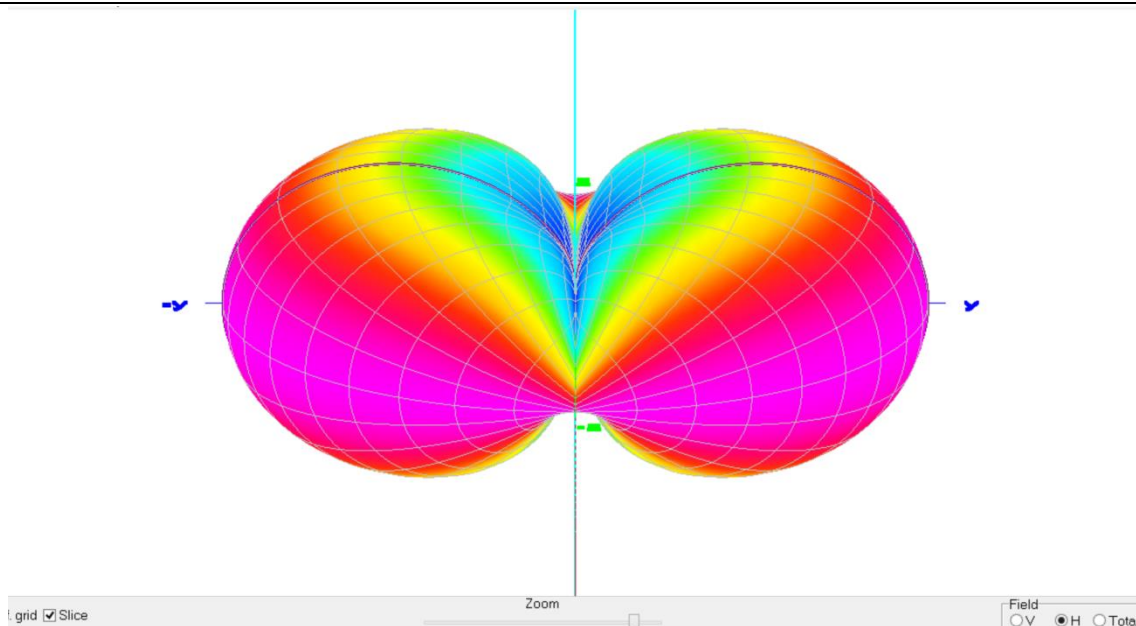


Рисунок 6. Трехмерная диаграмма распределения H-поля с $l=1$, $m=0$

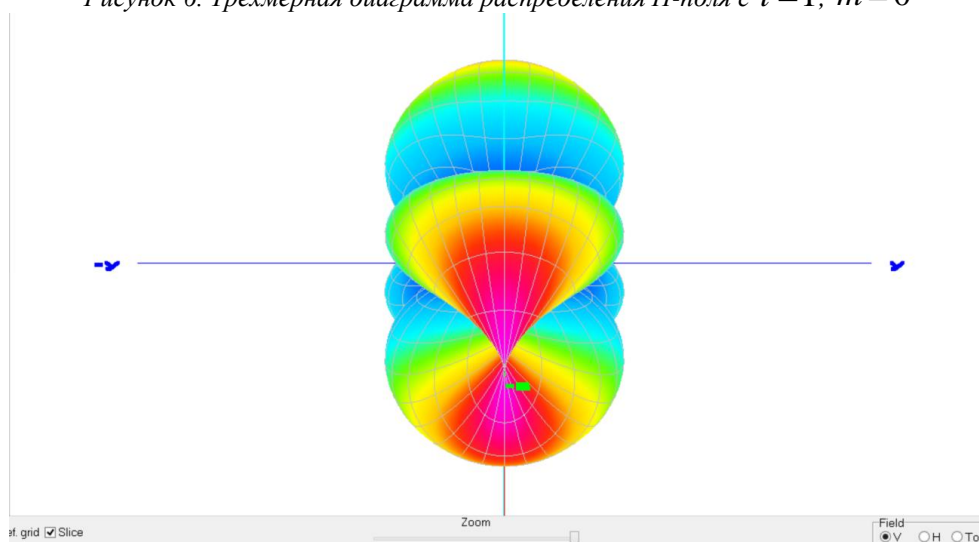


Рисунок 7. Трехмерная диаграмма распределения V-поля с $l=1$, $m=0$

Общее распределение излучения мультиполя порядка l определяется, согласно (1), когерентной суперпозицией $(2l+1)$ гармоник, соответствующих различным m .

С помощью формулы легко убедиться, что квадраты модулей векторных сферических гармоник удовлетворяют правилу сумм

$$\sum_{m=-l}^l |X_{l,m}(\theta, \varphi)|^2 = \frac{2l+1}{4\pi}, \quad (6)$$

Отсюда следует, что если источник состоит из набора мультиполей порядка l с коэффициентами $a(l,m)$, не зависящими от m , и излучение этих мультиполей складывается некогерентным образом, то угловое распределение излучения будет изотропным [3].

Приведенные выражения позволяют произвести вычисления углового распределения мультипольного излучения, которое используется при расчете многоканальных систем радиосвязи на основе мультиплексирования по орбитальному угловому моменту.

Список литературы:

1. Джексон Дж. Классическая электродинамика: учеб. Пособие. М.: Мир, 1962.- с. 591.
2. Swartzlander Jr., Ford E. L., Abdul-Malik R. S., Close L. M. Astronomical demonstration of an optical vortex coronagraph, Optics Express 16 (2008), no. 14, 10200.

3. J. Lavery M. P., Berkhout G. C. G., Courial J., and Padgett M. J., Measurement of the light orbital angular momentum spectrum using an optical geometric transformation, J. Opt. 13 (2011), 064006.