



Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2016, Том 7, № 1, С. 130 – 132

Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
[http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/  
ejournal@pnu.edu.ru](http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru)

УДК 537.8

© 2016 г. А. В. Кирюшин, канд. физ.-мат. наук

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## ТЕОРЕМА ПОЙНТИНГА В ВУЗОВСКОМ КУРСЕ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

Рассматривается тонкий проводник произвольной формы, по которому течет постоянный электрический ток. Показано, что поток вектора Пойнтинга через боковую поверхность любого участка данного проводника равен количеству теплоты, выделяемой в рассматриваемом участке за единицу времени.

**Ключевые слова:** тонкий проводник, электрический ток, поток вектора Пойнтинга.

A. V. Kiryushin

## POYNTING'S THEOREM IN THE HIGH SCHOOL COURSE OF THE GENERAL PHYSICS

The thin conductor of any form on which direct electric current flows is considered. It is shown that the stream of a vector of Poynting through a side surface of any site given the conductor is equal to amount of heat, allocated in the considered site for a unit of time.

**Keywords:** thin conductor, electric current, stream of a vector of Poynting.

Анализ теоремы Пойнтинга и механизмов движения энергии в электромагнитном поле традиционно является важной частью вузовских курсов общей физики.

В частности, для прямого проводника круглого сечения, вдоль которого течет постоянный электрический ток, такой анализ проведен в широко известных учебных пособиях [1-4]. Показано, что поток  $\vec{P}$  вектора Пойнтинга  $\vec{S}$  через боковую поверхность участка данного проводника, имеющего сопротивление  $R$ , равен (по модулю) количеству теплоты, выделяемой в рассматриваемом участке за единицу времени:

$$P = -I^2 R, \quad (1)$$

Здесь  $I$  – сила тока, текущего по проводнику. Появление отрицательного знака в этой формуле обусловлено использованием при расчете  $P$  внешней нормали к поверхности проводника.

Из выражения (1) следует вывод о том, что электромагнитная энергия передается не вдоль проводов, а поступает внутрь этих проводов из окружающего пространства, превращаясь в тепло Джоуля - Ленца.

В настоящей работе соотношение (1) обобщается на практически важный случай тонких проводников произвольной формы с постоянной площадью поперечного сечения  $S$ . В таких проводниках направление тока совпадает с направлением оси  $L$  провода (рис. 1), а вектор плотности тока, имея одинаковое значение модуля

$$j = \frac{I}{S} \quad (1)$$

во всех точках сечения этого провода, направлен вдоль элемента оси  $d\vec{L}$ .

Ток в проводнике обусловлен существованием в нем электрического поля. Напряженность этого поля  $\vec{E}$  и вектор плотности тока  $\vec{j}$  связывает закон Ома в дифференциальной форме:

$$\vec{E} = \rho \vec{j}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление.

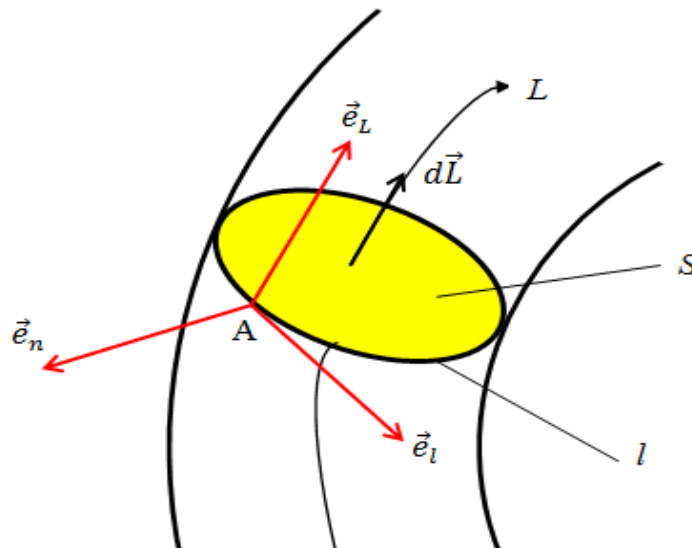


Рис. 1. К расчету потока вектора Пойнтинга через боковую поверхность тонкого проводника с током

В произвольной точке  $A$  контура  $L$ , ограничивающего поперечное сечение проводника, построим тройку единичных векторов:  $\vec{e}_n$  – вектор внешней нормали;  $\vec{e}_l$  – вектор, касательный к контуру  $L$ , в данной точке и связанный по направлению правилом буравчика с направлением тока в проводнике;  $\vec{e}_L$  – вектор, перпендикулярный плоскости.

определяемой этими векторами и направленный вдоль элемента оси  $d\vec{l}$ . (рис. 1).

Граничное условие непрерывности тангенциальных компонент поля  $\vec{E}$  приводит к выводу о существовании вне проводника вблизи точки  $A$  электрического поля, определяемого, как это следует из (1), (2), соотношением

$$\vec{E} = \rho \frac{l}{S} \vec{e}_l. \quad (3)$$

Кроме электрического вблизи поверхности проводника существует магнитное поле, причем, в соответствие с законом полного тока циркуляция напряженности этого поля по замкнутому контуру  $l$  есть

$$\oint (\vec{H} \vec{e}_l) dl = I. \quad (4)$$

Рассчитаем поток вектора Пойнтинга

$$\vec{S} = [\vec{E} \vec{H}] \quad (5)$$

через боковую поверхность участка данного проводника длиной  $L$ :

$$P = \iint (\vec{S} \vec{e}_n) d\Sigma. \quad (6)$$

Здесь  $d\Sigma$  – элемент площади боковой поверхности, который для тонкого проводника с постоянной площадью поперечного сечения можно записать в виде

$$d\Sigma = dl \cdot dL. \quad (7)$$

Используя выражения (3),(5) и (7) после простых векторных преобразований получим

$$P = -\rho \frac{l}{S} \int dL \oint (\vec{H} \vec{e}_l) dl.$$

Применяя закон полного тока (3) и проводя простое интегрирование по переменной  $L$ , получим

$$P = -\rho \frac{l}{S} I^2 = -RI^2, \quad (8)$$

что совпадает с хорошо известным результатом (1) для прямого проводника круглого сечения.

Полученные в данной работе результаты расширяют, дополняют класс проводников с током, для которых на основе базовых уравнений электродинамики можно провести простое описание механизма выделения тепла Джоуля – Ленца.

Работа носит методический характер и предназначена для студентов, аспирантов и преподавателей физики в технических вузах.

### Список литературы

- [1] Сивухин Д. В. Общий курс физики: в 5 т. Т. 3. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, Изд-во МФТИ, 2004. – 656 с.
- [2] Матвеев А. Н. Электричество и магнетизм: Учеб.пособие. – М.: Высш. школа, 1983. – 463 с.
- [3] Иродов И. Е. Электromагнетизм: Основные законы – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2000. – 353 с.
- [4] Калашников С. Г. Электричество – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с.

*E-mail:*

*Кирюшин А. В. – avkirjushin47@mail.ru*