

Энергия электромагнитных волн

Электромагнитные волны переносят энергию. Известно, что плотность потока энергии можно получить, умножив плотность энергии на скорость волны (см. энергия упругой волны). Рассмотрим распространение электромагнитной волны в вакууме. Плотность энергии электрического поля и плотность энергии магнитного поля в сумме дают плотность полной энергии:

$$w = w_E + w_H = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} + \frac{\mu_0 H^2}{2} \quad (1)$$

В данной точке пространства векторы \vec{E} и \vec{H} изменяются в одинаковой фазе (это справедливо только для непроводящей среды). Поэтому соотношение между амплитудными значениями $E_m \sqrt{\epsilon_0} = H_m \sqrt{\mu_0}$ (см. плоская электромагнитная волна) верно и для их мгновенных значений:

$$E_m \sqrt{\epsilon_0} = H_m \sqrt{\mu_0} \quad (2)$$

Отсюда следует, что плотности энергии электрического и магнитного полей волны в каждый момент времени одинаковы: $w_E = w_H$. Выражению для плотности полной энергии можно придать вид:

$$w = \frac{1}{2}(E\sqrt{\epsilon_0})(E\sqrt{\epsilon_0}) + \frac{1}{2}(H\sqrt{\mu_0})(H\sqrt{\mu_0}) = \sqrt{\epsilon_0\mu_0}EH = \frac{1}{c}EH \quad (3)$$

Умножив это выражение на скорость волны, получим модуль плотности потока энергии:

$$S = wc = EH \quad (4)$$

Векторы \vec{E} и \vec{H} взаимно перпендикулярны и образуют с направлением распространения волны правовинтовую систему, поэтому направление $[\vec{E}; \vec{H}]$ совпадает с направлением переноса энергии, а его модуль равен плотности потока энергии. Этот вектор называется вектором Пойнтинга:

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

Поток Φ энергии электромагнитной волны через некоторую поверхность F можно найти так:

$$\Phi = \int_F \vec{S} d\vec{F} \quad (6)$$