

Излучение диполя

Простейшей системой, излучающей электромагнитные волны, является колеблющийся электрический диполь, например, неподвижный точечный заряд $+q$ и колеблющийся около него точечный заряд $-q$. Дипольный момент такой системы изменяется по закону:

$$\vec{p} = -q\vec{r} = -q\vec{l} \cos \omega t = \vec{p}_m \cos \omega t \quad (1)$$

(\vec{l} – вектор оси диполя, \vec{r} – радиус-вектор отрицательного заряда)

Рассмотрим излучение диполя, размеры которого малы по сравнению с длиной волны ($l \ll \lambda$). Такой диполь называется элементарным. В непосредственной близости от диполя картина электромагнитного поля очень сложна. Она сильно упрощается в так называемой волновой зоне диполя, которая начинается на расстояниях r , много больших длины волны.

Если волна распространяется в однородной изотропной среде, то волновой фронт в волновой зоне будет сферическим.

Амплитуды E_m и H_m излучаемой волны зависят от расстояния до диполя r , а также от угла ϑ , отсчитываемого от луча, перпендикулярного оси диполя. Зависимость для вакуума имеет вид:

$$E_m \sim H_m \sim \frac{1}{r} \sin \vartheta \quad (2)$$

Среднее значение плотности потока энергии $\langle S \rangle$ пропорционально произведению $E_m H_m$, поэтому:

$$\langle S \rangle \sim \frac{1}{r^2} \sin^2 \vartheta \quad (3)$$

– сильнее всего диполь излучает в направлении, перпендикулярном его оси.

Мощность излучения диполя пропорциональна квадрату второй производной дипольного момента по времени:

$$P \sim \left(\frac{\partial^2 \vec{p}}{\partial t^2} \right)^2 \quad (4)$$

Поскольку $\left(\frac{\partial^2 \vec{p}}{\partial t^2} \right)^2 = p_m^2 \omega^4 \cos^2 \omega t$:

$$P \sim p_m^2 \omega^4 \cos^2 \omega t \quad (5)$$

Усредним это выражение по времени:

$$\langle P \rangle \sim p_m^2 \omega^4 \quad (6)$$

С другой стороны, $\frac{\partial^2 \vec{p}}{\partial t^2} = -q\vec{a}$, где \vec{a} – ускорение колеблющегося заряда. Подставим в предыдущую формулу:

$$P \sim q^2 a^2 \quad (7)$$

В СИ коэффициент пропорциональности равен $\frac{\sqrt{\mu_0/\epsilon_0}}{6\pi c^2} = \frac{20}{c^2}$:

$$P = \frac{20}{c^2} q^2 a^2 \quad (8)$$

Зная мощность излучения диполя, легко найти убыль его энергии за некоторое время.