

## Импульс электромагнитного поля

Когда электромагнитная волна поглощается в каком-либо теле, она оказывает на него давление. Покажем это.

Пусть плоская волна падает по нормали на плоскую поверхность слабо проводящего тела с  $\epsilon$  и  $\mu$  равными 1. Электрическое поле возбудит в теле ток плотности:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (1)$$

Магнитное поле волны будет действовать на единицу объема тела с силой:

$$\vec{F}_{\text{ед. об.}} = [\vec{j}; \vec{B}] = [\vec{j}; \vec{H}] \quad (2)$$

Направление этой силы совпадает с направлением распространения волны, т.к.  $\vec{j} \parallel \vec{E}$  и  $\vec{E} \perp \vec{H}$

Поверхностному слою с площадью, равной единице, и толщиной  $dl$  сообщается в единицу времени импульс:

$$dK = F_{\text{ед. об.}} dl = \mu_0 j H dl \quad (3)$$

В этом же слое в единицу времени поглощается энергия:

$$dW = j E dl \quad (4)$$

Она выделяется в виде теплоты.

Рассмотрим отношение импульса к энергии:

$$\frac{K}{W} = \mu_0 \frac{H}{E} \quad (5)$$

Учитывая, что  $\mu_0 H^2 = \epsilon E^2$ , получим:

$$\frac{K}{W} = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = \frac{1}{c} \quad (6)$$

Отсюда следует, что электромагнитная волна, несущая энергию  $W$ , обладает импульсом:

$$K = \frac{1}{c} W \quad (7)$$

Переходя к единице объема:

$$K_{\text{ед. об.}} = \frac{1}{c} w \quad (8)$$

– это связь между плотностью импульса и плотностью энергии.

$w\vec{c} = \vec{S}$ , поэтому:

$$\vec{K}_{\text{ед. об.}} = \frac{1}{c^2} \vec{S} = \frac{1}{c^2} [\vec{E}; \vec{H}] \quad (9)$$

Если релятивистские частицы распределены в пространстве с плотностью  $n$ , плотность импульса, который они переносят, равна:

$$\vec{K}_{\text{ед. об.}} = n \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (10)$$

Частицы переносят с собой энергию, плотность потока которой обозначим через  $\vec{j}_W$ . Она равна плотности потока частиц, умноженной на энергию одной частицы:

$$\vec{j}_W = n\vec{v} \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (11)$$

Поэтому:

$$\vec{K}_{\text{ед. об.}} = \frac{1}{c^2} \vec{j}_W \quad (12)$$

Давление волны на единицу перпендикулярной абсолютно поглощающей поверхности равно:

$$p = \langle w \rangle \quad (13)$$

Аналогичное давление на абсолютно отражающую поверхность:

$$p = 2 \langle w \rangle \quad (14)$$