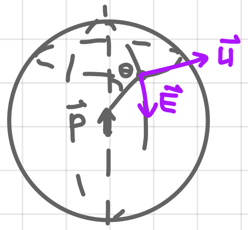
39 Излучение электромагнитных волн. Зависимость интенсивности дипольного излучения от частоты, диаграмма направленности

излучение – процесс, в котором э/м поле отрывается от источника и уносит некоторую энергию.

э/м. волны излучаются зарядами, движ. с ускорением

рассмотрим э/м. волну, создаваемую точечным диполем с переменным дипольным моментом в среде $\varepsilon = 1$, $\mu = 1$

фронт излучения – сферический. это значит, что напряжённости и потенциалы полей зависят от t по закону $\sim f(r - ct)$ (билет 36)



в небольшой области волнового фронта волну можно рассматривать как плоскую, распр. от центра. поэтому локально волну можно считать поперечной:

$$\vec{E} = \vec{H} \times \vec{n}$$, где $\vec{n}$ – ед.в. в направлении распространения волны.

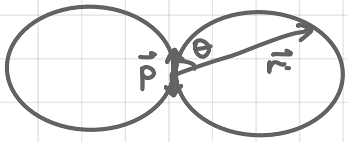
если дипольный момент совершает гармонические колебания с частотой ω, $\vec{p} = \vec{p}_0 \cos\omega t$, то векторы $\vec{E}$ и $\vec{H}$ совершают колебания с той же частотой

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_m(\vec{r}) \cos(kr - \omega t)$$
$$\vec{H}(\vec{r}, t) = \vec{H}_m(\vec{r}) \cos(kr - \omega t)$$

$Q = \bar{S} \cdot 4\pi r^2 = const$ — поток энергии $\Rightarrow E_m^2 \cdot 4\pi r^2 = const \Rightarrow E_m, H_m \sim r^{-1}$, а более точно $E_m, H_m \sim \frac{\sin\theta}{r}$

$E_m = H_m \Rightarrow \bar{S} = \frac{cE_m^2}{8\pi}$

тогда $S \sim \frac{1}{r^2}\sin^2\theta$ угловое распределение (диаграмма направленности)



видно, что максимум излучения идёт в напр-ии, ⊥ном дипольному моменту

в случае дипольного излучения поля $\propto \ddot{\vec{p}}$, причём

$$E = \frac{\ddot{p}}{c^2 r}\sin\theta \qquad H = \frac{\ddot{p}}{c^2 r}\sin\theta \qquad \vec{E} = \vec{H} \times \vec{n}$$

тогда

$$\vec{E} = \frac{1}{c^2 r}(\ddot{\vec{p}} \times \vec{n}) \times \vec{n} \qquad \vec{H} = \frac{1}{c^2 r}(\ddot{\vec{p}} \times \vec{n})$$

$$\vec{S} = \frac{c}{4\pi}\frac{1}{c^4 r^2}\ddot{p}^2 \sin^2\theta\, \vec{n}$$

тогда мощность излучения: $Q = \oint_\Pi \vec{S}\, d\vec{\Pi} = \frac{\ddot{p}^2}{4\pi c^3} \underbrace{\int_0^\pi \sin^2\theta \cdot 2\pi \sin\theta\, d\theta}_{(1 + 1 + \frac{1}{3}(-1-1) = \frac{4}{3})} = \frac{2\ddot{p}^2}{3c^3}$

$d\vec{\Pi} = d\Pi\, \vec{n} =$
$= \vec{n} \cdot r^2 d\Omega =$
$= \vec{n} \cdot 2\pi r^2 \sin\theta\, d\theta$

значение дипольного момента берётся в момент времени $t - \frac{r}{c}$, учитывающий запаздывание.

$\exists\ \vec{p} = \vec{p}_0 \cos\omega t$ среднее за период $\cos^2 = \frac{1}{2}$

тогда $\bar{Q} = \frac{p_0^2}{3c^3}\omega^4$ закон Рэлея

излучаемая мощность $\sim \omega^4$