

Раздел II: Электричество и магнетизм.

Глава 6: Энергия электростатического поля.

1. Энергия взаимодействия системы точечных зарядов.

$$W = \frac{1}{2} \sum \sum W_{ik} = \frac{1}{2} \sum_{i \neq k} \sum \frac{q_i q_k}{4\pi\epsilon_0 r_{ik}} = \frac{1}{2} \sum_i q_i \sum_{k \neq i} \frac{q_k}{4\pi\epsilon_0 r_{ik}} = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i$$

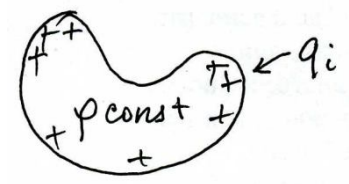
$$W = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i$$

W_{ik} — энергия взаимодействия зарядов i и k

r_{ik} — расстояние между зарядами i и k

φ_i — потенциал, который создают все заряды, кроме i в точке, где находится i ый заряд

2. Энергия заряженного уединённого проводника.



$$W = \frac{1}{2} \sum_i q_i \varphi_i = \frac{1}{2} \varphi \sum q_i = \frac{1}{2} \varphi Q$$

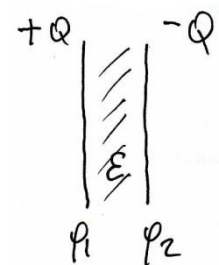
Q — полный нескомпенсированный заряд проводника

Используя понятие ёмкости уединённого проводника

$C = \frac{Q}{\varphi}$, получаем:

$$W = \frac{Q\varphi}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{C\varphi^2}{2}$$

3. Энергия заряженного конденсатора.



$$W = \frac{1}{2} \varphi_1 Q + \frac{1}{2} \varphi_2 (-Q) = \frac{Q}{2} (\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{QU}{2}$$

$$W = \frac{QU}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

4. Энергия электрического поля.

До сих пор речь шла о потенциальной энергии взаимодействия электрических зарядов. Проведём преобразования формулы энергии заряженного конденсатора:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{2d} (Ed)^2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} V \quad (V = Sd)$$

⇓

Плотность энергии заряженного конденсатора:

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right]$$

В формуле нет зарядов. Эту формулу можно рассматривать, как плотность энергии электрического поля.

Доказательство того, что электрическое поле само обладает энергией следует из факта переноса энергии электромагнитными волнами.

$$w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{D^2}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\overline{E} \cdot \overline{D}}{2}$$

5. Составляющие энергии электрического поля в диэлектрике.

$$W = \frac{\overline{E} \cdot \overline{D}}{2} = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} + \frac{\overline{E} \cdot \overline{P}}{2}$$

$\frac{\varepsilon_0 E^2}{2}$ - плотность энергии электрического пол в вакууме

$\frac{\overline{E} \cdot \overline{P}}{2}$ — энергия, идущая на поляризацию единицы объёма диэлектрика

Вопросы

1. Энергия заряженного уединённого проводника.
2. Энергия заряженного конденсатора.
3. Плотность энергии электрического поля в диэлектрике.
4. Составляющие энергии электрического поля в диэлектрике.