

14. Конденсаторы. Энергия электрического поля. Электре- ты

Конденсаторы

Рассмотрим еще раз емкости различных конденсаторов:

$C = \frac{q}{U}$ - емкость конденсатора означает, сколько

- Плоский конденсатор

Внутри плоского конденсатора находится равномерное поле $E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{Ed} = \frac{q\epsilon\epsilon_0}{\sigma d} = \frac{S\epsilon\epsilon_0}{d}$$

- Сферический конденсатор

Сферический конденсатор представляет собой две концентрические сферы разного радиуса и противоположных знаков заряда.

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\int \vec{E} d\vec{r}} = \frac{q}{\int E dr} = \frac{q}{\int_{R_1}^{R_2} \frac{kq}{r^2} dr} = \frac{R_1 R_2}{k(R_2 - R_1)} = \frac{4\pi\epsilon_0 R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$

Внешняя сфера напряженности внутри не создает

- Цилиндрический конденсатор

Цилиндрический конденсатор представляет собой два коаксиальных цилиндра разных радиусов

$$C = \frac{q}{U} = \frac{q}{\int_{R_1}^{R_2} \frac{2k\tau}{r} dr} = \frac{q}{2k\tau \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{l}{2k \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{2\pi\epsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

Параллельное соединение конденсаторов дает сумму их емкостей: $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$

Последовательное соединение конденсаторов дает сумму обратных к емкостям: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$

Энергия электрического поля

Работа всех сил взаимодействия произвольной системы зарядов равна убыли энергии взаимодействия зарядов этой системы: $dA = -dW$

Энергия всей системы:

$$W = W_{12} + W_{13} + \dots + W_{21} + W_{23} + \dots$$

Энергия взаимодействия пары зарядов $W_{12} = \frac{1}{2}(W_{12} + W_{21})$

$$\text{Получаем } W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n W_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n q_i \varphi_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left(q_i \sum_{j \neq i} \varphi_{ji} \right)$$

Энергия взаимодействия всех зарядов определяется как половина суммы произведения зарядов и потенциала остального поля в этом заряде

$$\text{Для конденсатора } W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i = \frac{1}{2} |q\varphi_2 - q\varphi_1| = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

$$W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{2d} (Ed)^2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} \cdot V = \frac{ED}{2} \cdot V = \frac{D^2}{2\varepsilon \varepsilon_0} \cdot V$$

$$\varepsilon \varepsilon_0 E^2 = \frac{W}{V} = \omega - \text{объемная плотность распределения энергии } (\vec{E} = \text{const})$$

$$\text{В неоднородном поле } \omega = \frac{dW}{dV}, \text{ а } W = \int \omega dV$$

Энергия сферического конденсатора:

$$\frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 k^2 q^2}{2r^4 \varepsilon^2}$$

$$W = \int \frac{\varepsilon_0 k^2 q^2}{2\varepsilon} \frac{1}{r^4} dV = \frac{\varepsilon_0 k^2 q^2}{2\varepsilon} \int \frac{4\pi}{r^2} dr$$

Также конденсаторы способны быстро разряжаться, высвобождая огромное количество энергии.

Электреты

Пироэлектрики - кристаллические диэлектрики, поляризуемые в отсутствии внешнего поля. При нагревании пироэлектрики поляризуются - пироэлектрический эффект. Также возможен обратный эффект - нагревание диэлектрика под действием внешнего поля

В пьезоэлектриках поляризация возникает под действием механической деформации - прямой пьезоэлектрический эффект. Также возможен обратный эффект - деформация под действием внешнего поля

Сегнетоэлектрики (или же ферроэлектрики) способны поляризоваться спонтанно в некотором температурном интервале. При периодическом изменении напряженности внешнего поля вектор поляризации сегнетоэлектрика изменяется немоментально, образуя на графике петлю гистерезиса

С помощью сегнетоэлектриков можно сделать энергонезависимую память (FRAM)

Другие свойства сегнетоэлектриков: в некотором температурном интервале проницаемость может достигать 10000, наличие областей спонтанной поляризации (доменов), сложная зависимость D и P от E , зависимость ε от внешнего поля, D и P зависят от предшествующего состояния