

Диэлектрики. Строение диэлектриков. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с поверхностной плотностью связанных зарядов.

Диэлектрики — это вещества не имеющие в нормальных условиях свободных электрических зарядов.

Диэлектрики могут состоять из:

1. Полярных молекул
2. Неполярных молекул

Полярная молекула — это молекула, в которой центры тяжести положительного и отрицательного заряда находятся в разных точках.

Неполярная молекула — это молекула, в которой центры тяжести положительного и отрицательного заряда находятся в одной точке.

При внесении в электрическое поле центры тяжести положительного и отрицательного заряда неполярной молекулы смещаются (+ вдоль \vec{E} (напряженности), - против \vec{E} (напряженности)). Это смещение называется ориентационной поляризацией.

Таким образом молекулы диэлектрика можно представить в виде диполей. Таким образом любой диэлектрик можно рассматривать как вещество состоящее из диполей.

Определение: Степень поляризации диэлектрика, характеризуется вектором поляризации.

$$\vec{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_{i: \text{внутри } \Delta V} \vec{P}_i}{\Delta V}, \quad [P] = \frac{Кл \cdot м}{м^3} = \frac{Кл}{м^2}$$

P — это сумма всех дипольных моментов единицы объема диэлектрика

При отсутствии поля, вектор поляризации равен нулю.

$$\vec{E} = 0 \Rightarrow \vec{P} = 0$$

У полярных из-за хаотичности, у неполярных из-за $\vec{P}_i = 0$

Возникает поляризация

$$\vec{E} \neq 0 \Rightarrow \vec{P} \neq 0$$

Во внешнем поле диполи поворачиваются, стремясь расположиться вдоль линии напряженности.

$$\vec{P} \sim \vec{E}$$

$$\vec{P} = \mathfrak{K} E_0 \vec{E}$$

\mathfrak{K} (каппа) — диэлектрическая восприимчивость. Характеризует способность диэлектрика к поляризации под действием электрического поля.

\mathfrak{K} (каппа), определённая таким образом не имеет размерности:

$$[\mathfrak{K}] = \frac{[P]}{[E_0 E]} = \frac{Кл/м^2}{[C] \cdot \frac{Кл}{м^2}} = \frac{Кл/м^2}{Кл/м^2} = 1$$

В поляризованном диэлектрике на его краях образуются связанные заряды. Каждый из связанных зарядов входит в состав диполя.

$\sigma_{св}$ — поверхностная плотность связанных зарядов.

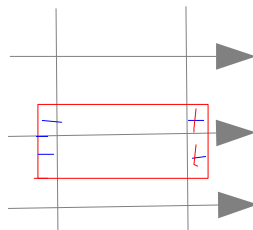
Установим связь между поверхностной плотностью связанных зарядов ($\sigma_{св}$) и вектором поляризации (\vec{P})

Вид сбоку на пластину диэлектрика

Для простоты: $\vec{E} \perp \text{пластине}$

Выделим в диэлектрике цилиндрик

$$P = \frac{\sum P_i}{V_{цил}} = \frac{\Delta q l}{\Delta S l} = \frac{\Delta q}{\Delta S}$$



В общем случае $\sigma_{св} = P_n$

Поверхностная плотность связанных зарядов равна проекции вектора поляризации на внешнюю нормаль (P_n) к поверхности диэлектрика.

Напряженность поля в диэлектриках. Диэлектрическая проницаемость. Вектор электрической индукции. Теорема Гаусса для диэлектрика.

Рассмотрим две большие параллельно-заряженные пластины. Поместим пластину из диэлектрика между этими пластинами

$$1. \quad E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (\text{было из теоремы Гаусса})$$

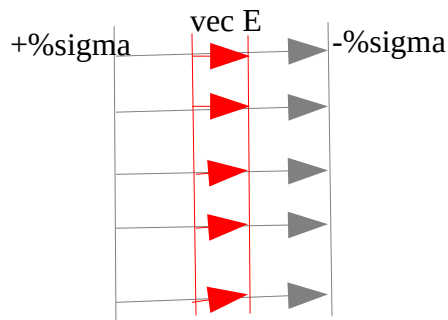
$$2. \quad \sigma_{св} \Rightarrow E'; \vec{E} \uparrow \downarrow \vec{E}_0$$

$$E' = \frac{\sigma_{св}}{\epsilon_0}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' \quad \text{— внутри } \sigma$$

$$\Rightarrow E = E_0 - E' = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_{св}}{\epsilon_0}$$

Диэлектрик поляризуется и на его краях образуются положительно заряженные заряды



Определение: Диэлектрической проницаемостью диэлектрика (ϵ) называется отношение напряженности поля вне диэлектрика, к напряженности поля внутри.

$$\frac{E_0}{E} = \epsilon \Rightarrow E = \frac{E_0}{\epsilon} \quad \epsilon \geq 1, \text{ во сколько раз диэлектрик ослабляет электрическое поле.}$$

а) Свяжем σ и $\sigma_{св}$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma_{св}}{\epsilon_0} \Rightarrow \frac{\sigma_{св}}{\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} - \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} \Rightarrow \sigma_{св} = \sigma \cdot \frac{\epsilon - 1}{\epsilon}$$

б) Установим связь между E и \mathcal{R}

$$P = \mathcal{R} E_0 E, \quad P_n = \sigma_{св}, \quad E = E_0 - \frac{\sigma_{св}}{\epsilon_0}, \quad E_0 = \epsilon E \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \begin{aligned} E &= E_0 - \frac{\mathcal{R} E_0 E}{\epsilon_0} & E_0 &= E + \mathcal{R} E & \Rightarrow & \epsilon &= \mathcal{R} + 1 \\ E_0 &= \epsilon E & E_0 &= \epsilon E \end{aligned}$$

Для характеристики электрического поля в присутствии диэлектрика удобно использовать не вектор напряженности \vec{E} , а другую физическую величину: вектор электрической индукции (вектор электрического смещения) \vec{D} .

Определение: Вектором электрической индукции называется $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

По-другому:

$$\vec{P} \propto \epsilon_0 \vec{E} \Rightarrow \vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} (1 + \chi)$$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$$

(начало параграфа)

Вне диэлектрика: $E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$; $D = \epsilon \epsilon_0 E_0 = \sigma$

Внутри диэлектрика: $E = \frac{E_0}{\epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}$; $D = \epsilon \epsilon_0 E = \sigma$

Напряженности внутри E различаются в ϵ раз, а индукция внутри D одинакова.

Причина: величина \vec{E} зависит и от свободных («настоящих», σ) зарядов, создающих поле и от связанных зарядов, возникших при поляризации диэлектрика. А величина \vec{D} зависит определяется только свободными (σ) зарядами, которые создают поле. То есть связанные заряды не влияют на D . Диэлектрик влияет на E , но не влияет на D .

Запишем теорему Гаусса с использованием \vec{D} .

Вне диэлектрика $\oint E_n dS = \frac{\sum_{i: \text{внутри } S} q_i}{\epsilon_0}$

Внутри диэлектрика:

$$q \rightarrow \frac{q}{\epsilon} = \oint_{(S)} E_n dS = \frac{\sum_{i: \text{внутри } S} q_i}{\epsilon \epsilon_0} = \epsilon \epsilon_0 \oint_{(S)} E_n dS = \sum_{i: \text{внутри } S} q_i = \oint_{(S)} D_n dS = \sum_{i: \text{внутри } S} q_i \quad (\text{сумма свободных}$$

зарядов внутри поверхности S)

Поток вектора электрической индукции через произвольную замкнутую поверхность, равен алгебраической сумме свободных зарядов, находящихся внутри этой поверхности.