

Конденсатор с диэлектриком

Чтобы увеличить ёмкость конденсатора, пространство между его обкладками можно заполнить диэлектриком. Данный листок посвящён различным явлениям, возникающим при помещении диэлектрика в электрическое поле.

Поляризационные заряды

Если диэлектрик поместить во внешнее электростатическое поле $E_{\text{внеш}}$, то в результате поляризации на поверхности диэлектрика появляются индуцированные заряды (которые называются также связанными или поляризационными). Поле $E_{\text{инд}}$ этих зарядов направлено против внешнего поля $E_{\text{внеш}}$ и частично ослабляет его; в простейшем случае однородных полей суммарное электрическое поле внутри диэлектрика будет равно $E_{\text{внутр}} = E_{\text{внеш}} - E_{\text{инд}}$. Диэлектрическая проницаемость ϵ диэлектрика показывает, во сколько раз ослабляется внешнее поле: $E_{\text{внутр}} = E_{\text{внеш}}/\epsilon$.

ЗАДАЧА 1. Диэлектрический цилиндр находится во внешнем однородном электрическом поле E , которое параллельно оси цилиндра. Найдите поверхностную плотность зарядов, индуцированных на основаниях цилиндра. Диэлектрическая проницаемость материала цилиндра равна ϵ . Высота цилиндра много меньше радиуса его оснований.

$$\frac{\epsilon}{1-\epsilon} \sigma_{\text{пол}} = \rho$$

Ёмкость конденсатора с диэлектриком

ЗАДАЧА 2. Плоский конденсатор с площадью пластин S и расстоянием между ними d заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ .

- 1) Найдите ёмкость такого конденсатора.
- 2) Найдите величину и знак заряда, индуцированного на поверхности диэлектрика у положительной пластины конденсатора, если заряд конденсатора равен q .

$$\frac{\epsilon}{1-\epsilon} b- = b \quad \left(\sigma : \frac{q}{S \epsilon^0 \epsilon} = \rho \right)$$

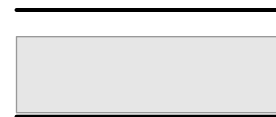
ЗАДАЧА 3. («Физтех», 2011) Плоский конденсатор заряжен и отключён от источника постоянного напряжения. В конденсатор вставляют пластину из диэлектрика (см. рисунок) так, что диэлектрик заполняет треть объёма конденсатора, из-за чего разность потенциалов между пластинами уменьшается в два раза.



- 1) Как и во сколько раз изменилась напряжённость электрического поля внутри конденсатора в области без диэлектрика?
- 2) Найдите диэлектрическую проницаемость ϵ материала диэлектрической пластины.

$$1) \text{ Напряжённость уменьшилась в два раза; } 2) \epsilon = 4$$

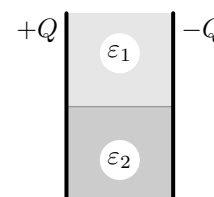
ЗАДАЧА 4. («Физтех», 2011) Плоский конденсатор подключён к источнику постоянного напряжения. Не отключая источника, в конденсатор вставляют пластину из диэлектрика (см. рисунок), толщина которой равна $4/5$ расстояния между пластинами конденсатора (диэлектрик заполняет $4/5$ объёма конденсатора), из-за чего заряд на пластинах конденсатора увеличивается в три раза.



- 1) Как и во сколько раз изменилась напряжённость электрического поля внутри конденсатора в области без диэлектрика?
- 2) Найдите диэлектрическую проницаемость ϵ материала диэлектрической пластины.

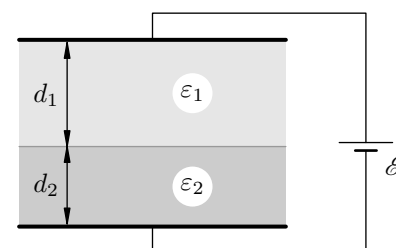
$$\epsilon = 9 \quad (1) \text{ Напряжённость увеличилась в три раза; } (2) \text{ } \epsilon = 9$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 2006) Две одинаковые половины плоского конденсатора заполнены разными диэлектриками с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 (см. рисунок). Заряд на обкладках конденсатора равен Q . Определите величину и знак связанного (поляризационного) заряда верхнего диэлектрика у левой обкладки конденсатора.



$$\sigma_{\text{св}} = \frac{\epsilon_2 + \epsilon_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \rho_b$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 2006) Плоский конденсатор с площадью пластин S полностью заполнен двумя слоями диэлектрика с толщинами d_1 и d_2 и диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 (см. рисунок). Между обкладками конденсатора поддерживается постоянная разность потенциалов \mathcal{E} . Определите величину и знак связанного (поляризационного) заряда диэлектрика у нижней обкладки конденсатора.

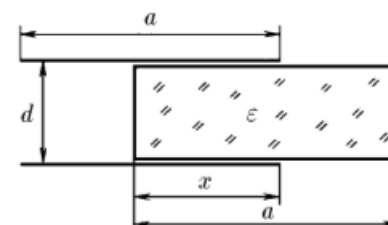


$$\frac{1}{S} \frac{\epsilon_2 + \epsilon_1}{\epsilon_1 - \epsilon_2} \rho_b = \rho_b$$

Втягивание диэлектрика в конденсатор

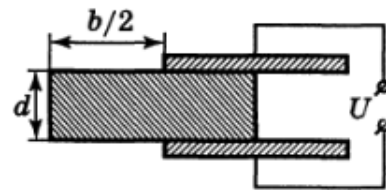
ЗАДАЧА 7. Рассмотрим заряженный плоский воздушный конденсатор и плоскопараллельную пластину из диэлектрика. Пластина расположена параллельно обкладкам конденсатора и близко к ним, а толщина пластины немного меньше расстояния между обкладками. Оказывается, пластина сама втянется в конденсатор! Объясните, какая сила вызывает такое движение пластины.

ЗАДАЧА 8. (Савченко, 6.6.20) С какой силой втягивается диэлектрическая пластина в плоский конденсатор с зарядом Q , когда она входит в пространство между обкладками на длину x ? Диэлектрическая проницаемость пластины ϵ , а толщина её немного меньше расстояния между обкладками d . Размеры обкладок, как и пластины, $a \times b$.



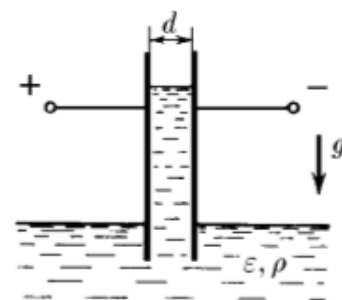
$$F = \frac{\epsilon_0 \epsilon (x(1-\epsilon) + d) Q^2}{2 S d (1-\epsilon)}$$

ЗАДАЧА 9. (Всеросс., 2001, ОЭ, 10) В горизонтально расположенный плоский конденсатор до середины вставлен брусок, который может скользить без трения между пластинами конденсатора (рис.). Конденсатор подключён к источнику постоянного напряжения U . В некоторый момент времени брусок без толчка отпускают. Найдите зависимость скорости бруска v от времени и постройте её график. Геометрические размеры бруска $b \times b \times d$, его диэлектрическая проницаемость ε , плотность ρ . Расстояние между пластинами конденсатора d , их размеры $b \times b$.



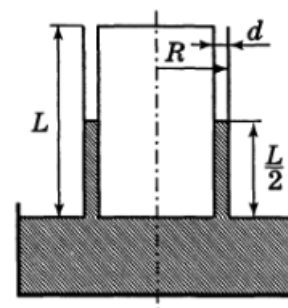
$$\left(\text{винебэгож} \right) \ll \text{вип} \gg \text{ — мэлэе :виневильтя олонгоп ойт } \frac{\varepsilon p q d \varepsilon}{\varepsilon \Omega^{0 \varepsilon (1 - \varepsilon)}} = a$$

ЗАДАЧА 10. (Савченко, 6.6.21) В широкий сосуд с жидкостью ставится вертикально плоский конденсатор так, что нижняя часть пластин конденсатора погружается в жидкость. Конденсатор подключён к батарее, которая поддерживает на обкладках конденсатора разность потенциалов V . Расстояние между пластинами конденсатора d , плотность жидкости ρ , диэлектрическая проницаемость ε . Жидкость несжимаема. На какую высоту поднимется жидкость? Поверхностным натяжением пренебречь.



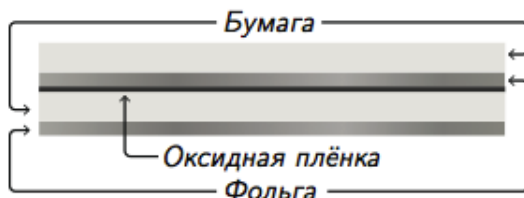
$$\frac{\varepsilon p b d \varepsilon}{\varepsilon \Lambda^{(1 - \varepsilon) 0 \varepsilon}} = q$$

ЗАДАЧА 11. (Всеросс., 2001, ОЭ, 11) Незаряженный цилиндрический конденсатор высоты L , радиусы цилиндрических обкладок которого R и $R - d$ (причём $d \ll R, L$), касается поверхности конденсаторного масла плотности ρ и диэлектрической проницаемости ε так, как показано на рисунке. За счёт сил поверхностного натяжения масло поднялось в зазоре между обкладками на высоту $L/4$. В следующий раз конденсатор зарядили и вновь опустили в масло. На этот раз масло поднялось на высоту $L/2$ (рис.). Найдите заряд Q конденсатора.



$$\frac{(1 - \varepsilon) \varepsilon}{\sqrt{6 \sigma 0 \varepsilon}} \wedge \text{TH} (1 + \varepsilon) \nu = \partial$$

Задача 12. (МОШ, 2019, 11) Батарейка «Крона» с напряжением 9 вольт представляет собой прямоугольный параллелепипед размером $48,5 \text{ мм} \times 26,5 \text{ мм} \times 17,5 \text{ мм}$. В «Википедии» написано: «Батарея типа «Крона» имеет ёмкость (по паспорту) $0,5 \text{ А}\cdot\text{ч}$ ». Мы хотим изготовить конденсатор как можно большей ёмкости таких же размеров, что и батарейка, используя необходимое количество материала, состоящего из двух слоёв алюминиевой фольги толщиной $h = 5 \text{ мкм}$ (см. рис.) и двух слоёв бумаги толщиной $D = 10 \text{ мкм}$.



Бумага, разделяющая слои фольги, пропитана проводящей жидкостью — электролитом. На поверхность одного из слоёв фольги нанесена плёнка оксида алюминия Al_2O_3 с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 10$ толщиной $d = 0,5 \text{ мкм}$. Определите максимально возможную ёмкость получившегося конденсатора. Можно ли его зарядить от батарейки до напряжения 9 вольт? Если да, то оцените, сколько раз (разряжая после каждого раза). Если нет, то до какого напряжения зарядится конденсатор? Электрическая постоянная равна $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

$$C_0 = \frac{P}{0,01 \cdot 10^{-4} \cdot 1,4 \cdot 10^{-4}} = \frac{P}{1,4 \cdot 10^{-8}} = 7,14 \cdot 10^7 \cdot P$$