

## 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  $\epsilon$  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  $\epsilon$ . 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  $\epsilon$ .

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

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

**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  $\epsilon$  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.

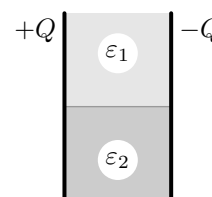


1) Как и во сколько раз изменилась напряжённость электрического поля внутри конденсатора в области без диэлектрика?

2) Найдите диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  материала диэлектрической пластины.

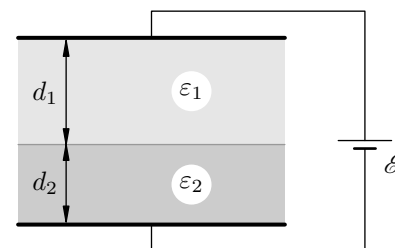
$$\boxed{9 = \varepsilon \quad (2) \quad \text{Напряжённость увеличилась в три раза.}}$$

ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 2006) Две одинаковые половины плоского конденсатора заполнены разными диэлектриками с диэлектрическими проницаемостями  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  (см. рисунок). Заряд на обкладках конденсатора равен  $Q$ . Определите величину и знак связанного (поляризационного) заряда верхнего диэлектрика у левой обкладки конденсатора.



$$\boxed{\sigma \frac{\varepsilon_2 + \varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = \rho}$$

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  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  (см. рисунок). Между обкладками конденсатора поддерживается постоянная разность потенциалов  $\mathcal{E}$ . Определите величину и знак связанного (поляризационного) заряда диэлектрика у нижней обкладки конденсатора.

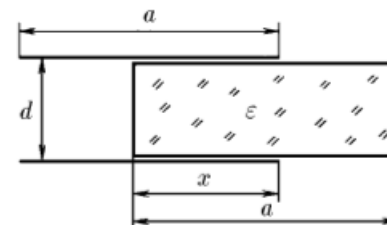


$$\boxed{\frac{1p\varepsilon_2 + \varepsilon_1\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\varepsilon_2} \mathcal{E} S^0 \varepsilon = \rho}$$

## Втягивание диэлектрика в конденсатор

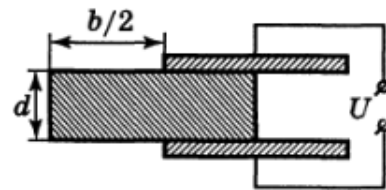
ЗАДАЧА 7. Рассмотрим заряженный плоский воздушный конденсатор и плоскопараллельную пластину из диэлектрика. Пластина расположена параллельно обкладкам конденсатора и близко к ним, а толщина пластины немного меньше расстояния между обкладками. Оказывается, пластина сама втянется в конденсатор! Объясните, 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  $\varepsilon$ , а толщина её немного меньше расстояния между обкладками  $d$ . Размеры обкладок, как и пластины,  $a \times b$ .



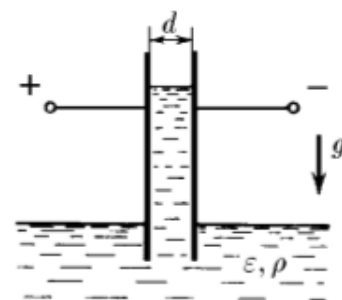
$$\boxed{\frac{\varepsilon(x(1-\varepsilon) + d)q^0 \varepsilon \mathcal{E}}{p \varepsilon \mathcal{E} (1-\varepsilon)} = \mathcal{F}}$$

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  $\varepsilon$ , плотность  $\rho$ . Расстояние между пластинами конденсатора  $d$ , их размеры  $b \times b$ .



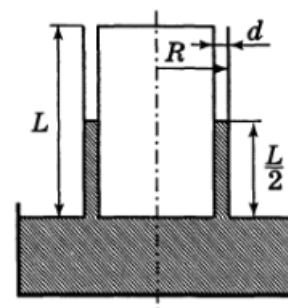
$$\left( \text{винебэгож} \right) \ll \text{вип} \gg \text{ — мэлэе :виневилья олонгоп оир } \frac{\varepsilon p q d \varepsilon}{\varepsilon \Omega^{0\varepsilon(1-\varepsilon)}} = a$$

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  $\rho$ , диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$ . 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  $\rho$  и диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  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.



$$\frac{(1-\varepsilon)\varepsilon}{\varepsilon b d \sigma^{0\varepsilon}} \wedge \text{TH}(1+\varepsilon)\nu = \partial$$