

# ***Поле в диэлектрике***

1. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии  $d=5\text{мм}$  друг от друга, приложено напряжение  $U=150\text{В}$ . К одной из пластин прилегает плоскопараллельная пластинка фарфора толщиной  $b=3\text{мм}$ . Найти напряженности электрического поля  $E_1, E_2$  в воздухе и фарфоре. Диэлектрическая проницаемость фарфора равна 6.

**Дано:**  $d=5\text{см}$ ,

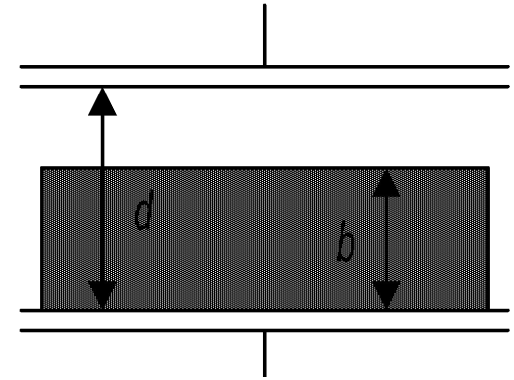
$U=150\text{В}$ ,

$b=3\text{мм}$

**Найти:**  $E_1, E_2$  - ?

$$U = U_1 + U_2$$

$$D_{1n} = D_{2n}$$



$$\varepsilon_1 \varepsilon_0 E_1 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 E_2$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_1$$

$$U = E_1(d - b) + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_1 b$$

$$E_1 = \frac{U \varepsilon_2}{\varepsilon_2(d - b) + \varepsilon_1 b}$$

**Ответ:**  $E_1 = 60\text{кВ/м}$ ;  $E_2 = 10\text{кВ/м}$ .

2. Площадь пластин плоского воздушного конденсатора  $S=0,01\text{м}^2$ , расстояние между ними  $d=5\text{мм}$ . К пластинам приложена разность потенциалов  $U_1=300\text{В}$ . После отключения конденсатора от источника напряжения пространство между пластинами заполняется эбонитом. Какова будет разность потенциалов  $U_2$  между пластинами после заполнения? Найти емкости конденсатора  $C_1, C_2$  и поверхностные плотности заряда  $\sigma_1, \sigma_2$  на пластинах до и после заполнения.

**Дано:**

$$S=0,01\text{м}^2,$$

$$d=5\text{мм},$$

$$U_1=300\text{В}, .$$

**Найти:**  $U_2,$

$$C_1, C_2, \sigma_1, \sigma_2$$

-?

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d}$$

$$q_1 = q_2$$

$$C_1 U_1 = C_2 U_2$$

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} U_1 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} U_1$$

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{q}{S} = \frac{C_1 U_1}{S} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 U_1}{d}$$

**Ответ:**

3. Решить предыдущую задачу для случая, когда заполнение пространства между пластинами диэлектриком производится при включенном источнике напряжения.

**Дано:**

$$S=0,01\text{м}^2,$$

$$d=5\text{мм},$$

$$U_1=300\text{В}$$

**Найти:**  $U_2$ ,

$$C_1, C_2, \sigma_1, \sigma_2$$

-?

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_1 S}{d}$$

$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{d}$$

$$q_1 = \frac{C_1}{C_2} q_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} q_2$$

$$\sigma_1 = \frac{q_1}{S} = \frac{C_1 U}{S} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 U}{d}$$

$$\sigma_2 = \frac{q_2}{S} = \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_0 U}{d}$$

$$U=U_1=U_2$$

$$q_1 = C_1 U$$

$$q_2 = C_2 U$$

**Ответ:**

4. Площадь пластин плоского конденсатора  $S=0,01\text{м}^2$ , расстояние между ними  $d=1\text{см}$ . К пластинам приложено напряжение  $U=300\text{В}$ . В пространстве между пластинами находятся плоскопараллельная пластинка стекла толщиной  $b=0,5\text{см}$  и плоскопараллельная пластинка парафина толщиной  $c=0,5\text{см}$ . Найти напряженность электрического поля  $E_1, E_2$  и падение потенциала  $U_1, U_2$  в каждом слое. Каковы будут при этом емкость конденсатора  $C$  и поверхностная плотность заряда  $\sigma$  на пластинах?

**Дано:**

$$S=0,01\text{м}^2,$$

$$d=1\text{см},$$

$$U=300\text{В},$$

$$b=0,5\text{см},$$

$$c=0,5\text{см},$$

$$\varepsilon_2 = 2$$

$$\varepsilon_1 = 6$$

**Найти:**  $E_1,$   
 $E_2,$   $U_1,$   $U_2,$   
 $C,$   $\sigma$  - ?

$$U=U_1+U_2$$

$$\begin{cases} U = E_1 b + E_2 c \\ \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_1 = \varepsilon_2 \varepsilon_0 E_2 \end{cases}$$

$$E_1 = \frac{U \varepsilon_2}{\varepsilon_2 b + \varepsilon_1 c}$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} E_1$$

$$\begin{cases} E_2 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 E_1}{\varepsilon_2 \varepsilon_0} \\ U = E_1 b + \frac{\varepsilon_1 E_1}{\varepsilon_2} c = E_1 \left( b + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} c \right) \end{cases}$$

$$U_1 = E_1 b = \frac{U \varepsilon_2 b}{\varepsilon_2 b + \varepsilon_1 c}$$

$$U_2 = E_2 c = \frac{U \varepsilon_1 c}{\varepsilon_2 b + \varepsilon_1 c}$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad C_1 = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_0 S}{b} \quad C_2 = \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_0 S}{c}$$

$$C = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_0 S}{\varepsilon_1 c + \varepsilon_2 b} =$$

$$\sigma = \frac{q}{S} = \frac{UC}{S} =$$

**Ответ:**  $E_1 = 15 \text{ кВ/м}$ ;  $E_2 = 45 \text{ кВ/м}$ ;  $U_1 = 75 \text{ В}$ ,  
 $U_2 = 225 \text{ В}$ ;  $C = 26,6 \text{ пФ}$ ;  $\sigma = 0,8 \text{ мкКл/м}^2$ .

5. Между пластинами плоского конденсатора, находящимися на расстоянии  $d=1\text{см}$  друг от друга, приложено напряжение  $U_1=100\text{В}$ . К одной из пластин прилегает плоскопараллельная пластинка бромистого таллия толщиной  $b=9,5\text{мм}$  с относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon=173$ . После отключения конденсатора пластинку вынимают. Каково будет после этого напряжение  $U_2$  на пластинах конденсатора ?

**Дано:**  $d=1\text{см}$ ,  
 $U_1=100\text{В}$ ,  
 $b=9,5\text{мм}$ ,  $\varepsilon=173$ ,  
**Найти:**  $U_2$  - ?

$$q = C_1 U_1 = C_2 U_2$$

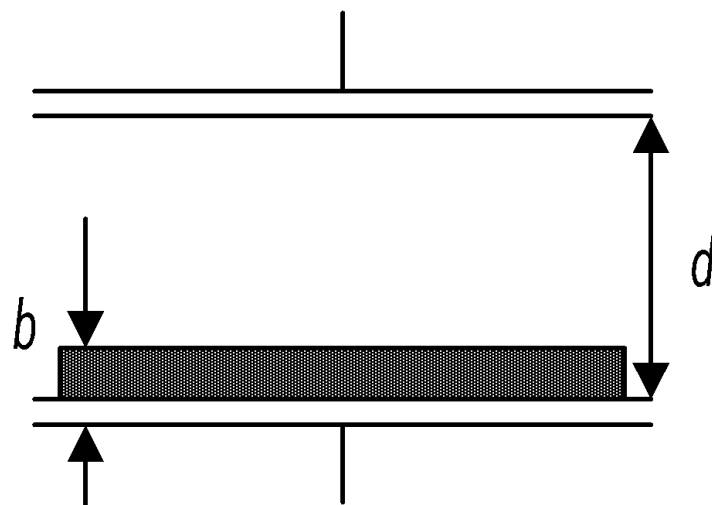
$$C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

$$C_1' = \frac{\varepsilon_0 S}{d - b}$$

$$C_2' = \frac{\varepsilon_2 \varepsilon_0 S}{b}$$

$$C_1 = \frac{C_1' C_2'}{C_1' + C_2'} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_2 S}{[(1 - \varepsilon_2)b + \varepsilon_2 d]}$$

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} U_1 \quad U_2 = \frac{\varepsilon_2 U_1 d}{[(1 - \varepsilon_2)b + \varepsilon_2 d]}$$



**Ответ:**  $U_2=1,8\text{кВ}$

6. Плоский конденсатор заполнен диэлектриком и заряжен до энергии  $W=20\text{мкДж}$ . После того как конденсатор отключили от источника напряжения, диэлектрик вынули из конденсатора, совершив работу  $A=70\text{мкДж}$ . Найти диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  диэлектрика.

**Дано:**

$$W=20\text{мкДж},$$

$$A=70\text{мкДж}.$$

**Найти:**  $\varepsilon$  - ?

$$A = W_2 - W_1$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C_1} \quad C_2 = \frac{C_1}{\varepsilon}$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{q^2}{C_2} = W_1 \varepsilon$$

$$A = W_1 (\varepsilon - 1)$$

**Ответ:**



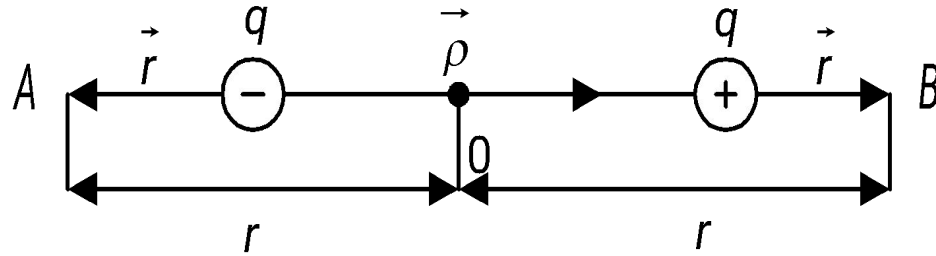
7. Электрическое поле создается точечным диполем с электрическим моментом  $p=0,1 \text{ нКл} \cdot \text{м}$ . Чему равна разность потенциалов  $\Delta\phi$  между двумя точками, расположенными симметрично на оси диполя на расстоянии  $r=10 \text{ см}$  от его центра?

**Дано:**

$p=0,1 \text{ нКл} \cdot \text{м}$ ,

$r=10 \text{ см}$ .

**Найти:**  $\Delta\phi$  - ?



$$\varphi = \frac{\rho \cos \alpha}{4\pi \varepsilon_0 r^2}$$

$$\alpha_A = \pi \quad (\cos \pi = -1)$$

$$\alpha_B = 0 \quad (\cos 0 = 1)$$

$$\Delta\varphi = |\varphi_B - \varphi_A| = \frac{2\rho}{4\pi \varepsilon_0 r^2}$$

**Ответ:**  $\Delta\phi=180\text{В}$ .

8. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено стеклом. Площадь пластин конденсатора  $S=0,01\text{м}^2$ . Пластины конденсатора притягиваются друг к другу с силой  $F=4,9\text{мН}$ . Найти поверхностную плотность связанных зарядов на стекле.

Дано:

$$S=0,01\text{м}^2,$$

$$F=4,9\text{мН}$$

Найти:

$$\sigma' = ?$$

$$F = qE \quad E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} \quad q = \sigma S$$

$$F = \frac{\sigma S \cdot \sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma^2 S}{2\varepsilon\varepsilon_0} \quad F = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2 S}{2}$$

$$E = \sqrt{\frac{2F}{\varepsilon\varepsilon_0 S}}$$

$$E = E_0 - E'$$

$$E_0 = \varepsilon E$$

$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}$$

$$E = \varepsilon E - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} \quad \sigma' = \varepsilon_0 E (\varepsilon - 1)$$

$$\sigma' = 6 \text{ мкКл} / \text{м}^2$$

9. Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком. Расстояние между пластинами  $d=2\text{мм}$ . На пластины конденсатора подана разность потенциалов  $U_1=0,6\text{кВ}$ . Если, отключив источник напряжения, вынуть диэлектрик из конденсатора, разность потенциалов на пластинах возрастет до  $U_2=1,8\text{кВ}$ . Найти поверхностную плотность связанных зарядов на диэлектрике и его диэлектрическую восприимчивость  $\chi$ .

**Дано:**

$d=2\text{мм}$ ,

$U_1=0,6\text{кВ}$ ,

$U_2=1,8\text{кВ}$ ,

**Найти:**  $\chi$  - ?

$\sigma' = ?$

$$q_1 = q_2 = q$$

$$U_1 C_1 = U_2 C_2$$

$$C_1 = \varepsilon C_2$$

$$\varepsilon = \frac{C_1}{C_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

$$\sigma' = P_n$$

$$\sigma' = \varepsilon_0 E (\varepsilon - 1)$$

$$E = U_1 / d$$

$$\sigma' = \varepsilon_0 \frac{U_1}{d} \left( \frac{U_2}{U_1} - 1 \right)$$

$$\chi = \varepsilon - 1 = \frac{U_2}{U_1} - 1$$

$$\sigma' = 5,3 (\text{мкКл} / \text{м}^2)$$

$$\chi = 2$$

10. Найти напряженность поля  $E$ , созданного диполем, электрический момент которого  $p=6,2 \cdot 10^{-30}$  Кл·м, на расстоянии  $r=3 \cdot 10^{-7}$  см от середины диполя в точке, лежащей: а) на продолжении диполя; б) на перпендикуляре к диполю.

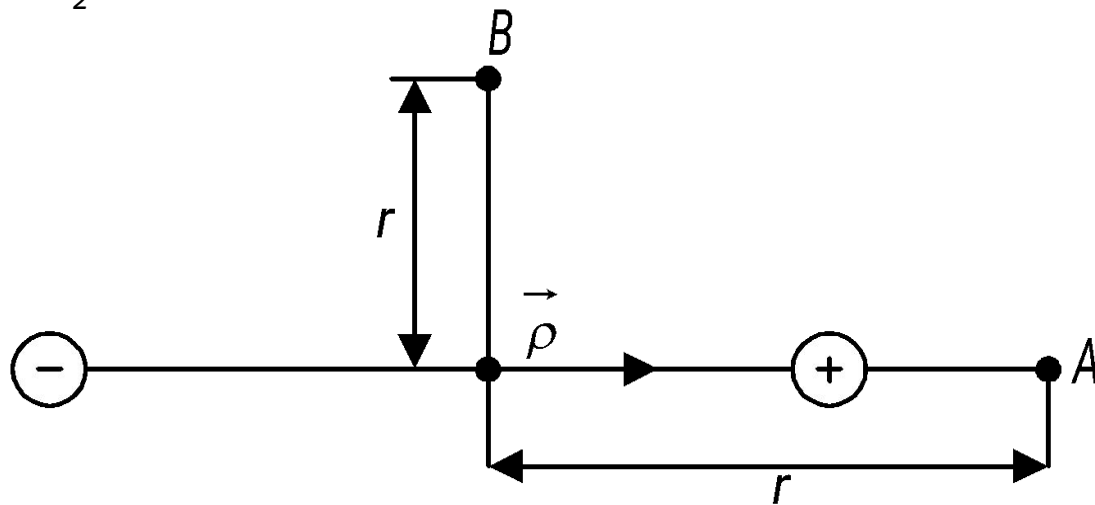
Дано:

$$p=6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Кл} \cdot \text{м},$$

$$r=3 \cdot 10^{-7} \text{ см}.$$

Найти:

- а)  $E_1$ ;  
б)  $E_2$ .



$$E = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0 r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \alpha}$$

$$\alpha = 0$$

$$E_A = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$\frac{\pi}{2} (\cos \frac{\pi}{2} = 0)$$

$$E_B = \frac{\rho}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

**Ответ:** а)  $E=4,1 \cdot 10^6 \text{ В/м};$  б)  
 $E=2 \cdot 10^6 \text{ В/м}.$

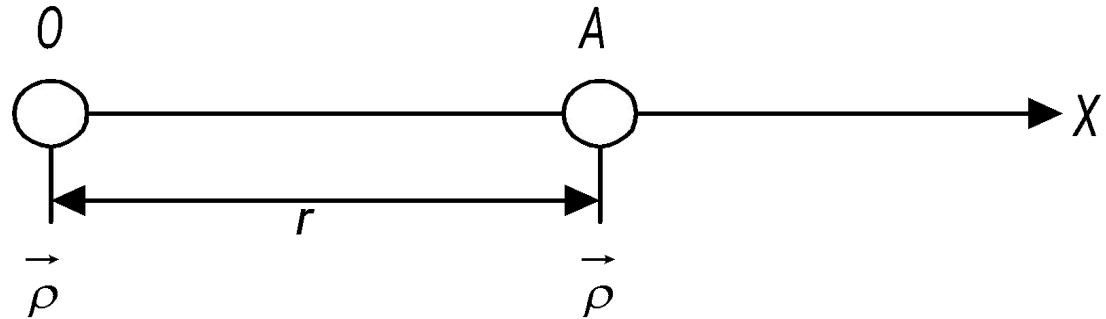
11. Найти силу взаимодействия  $F$  двух молекул воды, электрические моменты которых расположены вдоль одной прямой. Молекулы находятся на расстоянии  $r = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ см}$  друг от друга. Электрический момент молекулы воды  $p = 6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Кл} \cdot \text{м}$ .

**Дано:**

$$r = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ см},$$

$$p = 6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Кл} \cdot \text{м}.$$

**Найти:**  $F$  - ?



$$F_x = p \frac{\partial E}{\partial x} \cos \alpha$$

$$E_x = \frac{p}{4\pi\epsilon_0 x^3} \sqrt{1 + \cos^2 \alpha}$$

$$\cos 0 = 1$$

$$E(x) = \frac{p}{2\pi\epsilon_0 x^3}$$

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{3p}{2\pi\epsilon_0 x^4}$$

$$F_x = -\frac{3p^2}{2\pi\epsilon_0 x^4}$$

**Ответ:**  $F = -5,3 \cdot 10^{-14} \text{ Н}$ .

12. Диполь с электрическим моментом  $p=5,1 \cdot 10^{-29} \text{ Кл} \cdot \text{ м}$  находится на расстоянии  $r=10 \text{ см}$  от длинного провода однородно заряженного с линейной плотностью заряда  $\tau=72 \text{ нКл/м}$ . Найти модуль силы  $F$ , действующей на диполь, если вектор  $p$  направлен нормально к проводу.

**Дано:**

$$p=5,1 \cdot 10^{-29} \text{ Кл} \cdot \text{ м},$$

$$r=10 \text{ см},$$

$$\tau=72 \text{ нКл/м}.$$

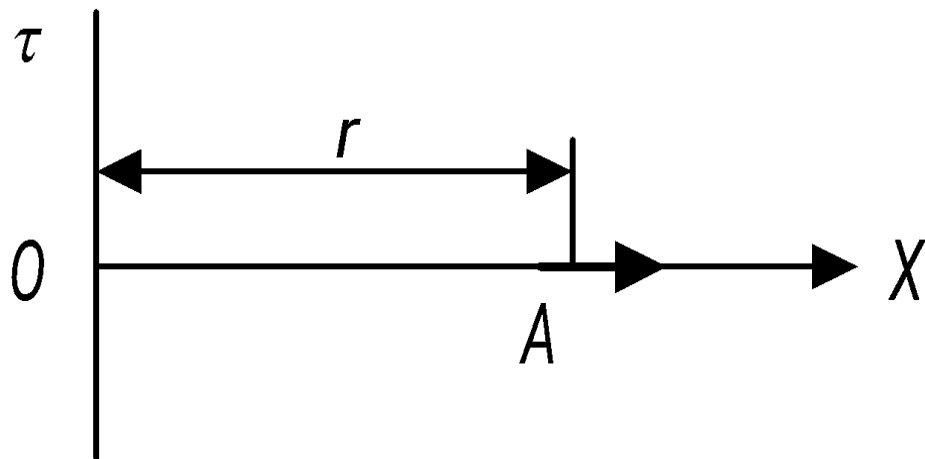
**Найти:**  $F$  - ?

$$F_r = \rho \frac{\partial E}{\partial r} \cos \alpha$$

$$\cos 0 = 1$$

$$\frac{\partial E}{\partial r} = - \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$F = - \frac{\rho\tau}{2\pi\epsilon_0 r^2}$$



**Ответ:**  $F=-6,6 \cdot 10^{-24} \text{ Н}.$