

# Проводники в электрическом поле

Проводники — есть свободные заряды

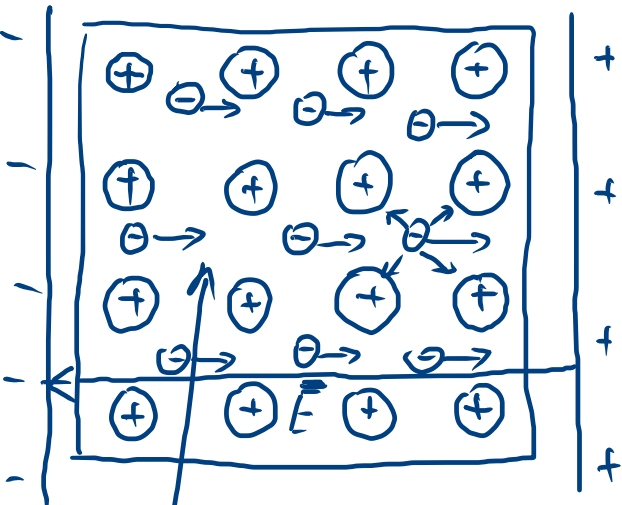
Металлы — медь, железо, серебро, титан, ... свободные заряды — электроны

Растворы солей — раствор NaCl, KCl, ... положительные и отриц. ионы

Кристаллическая решетка, электролитический раз

$$\vec{F} = e \vec{E}$$

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

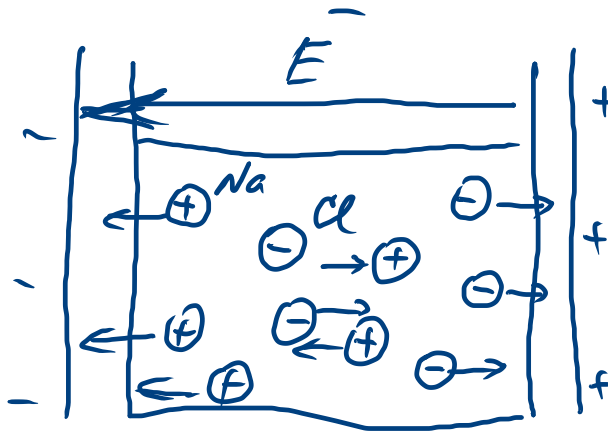


$$E_{вн.} = 0$$

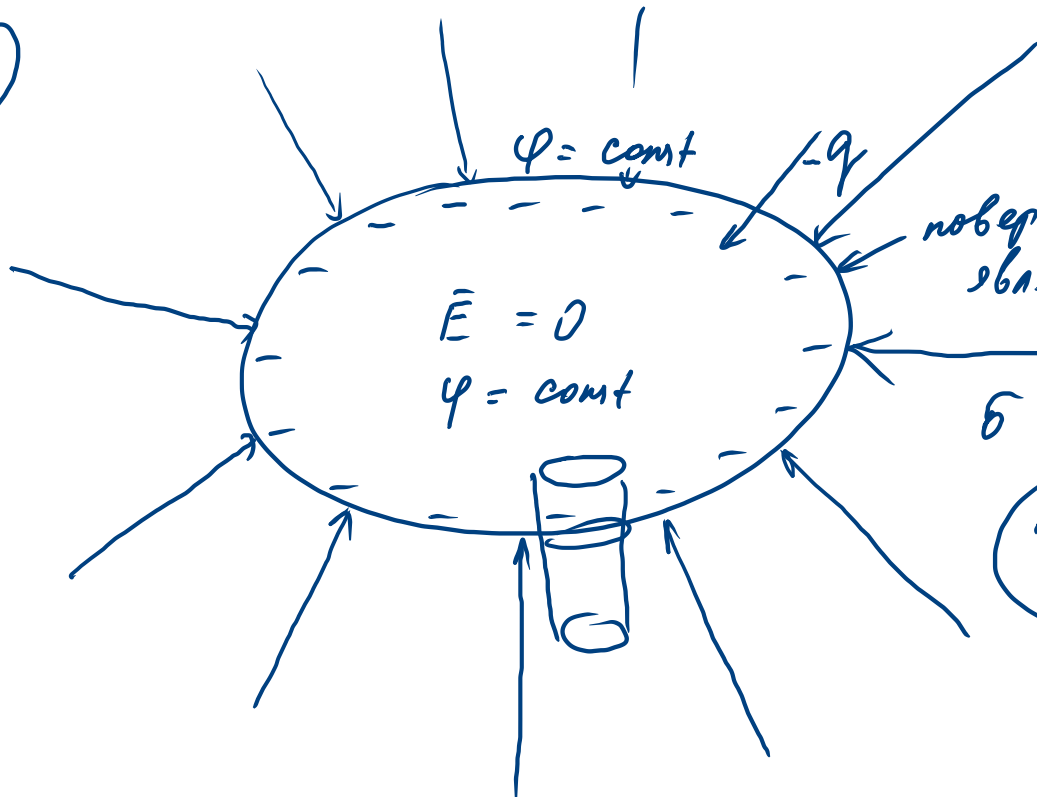
$$E = - \frac{d\varphi}{dn} = 0$$

$$\frac{d\varphi}{dn} = 0$$

$$\varphi = \text{const.}$$



1



Проводник соединен  
 с землей  
 поэтому заряд

поверхность проводника  
 является эквипотенциальной

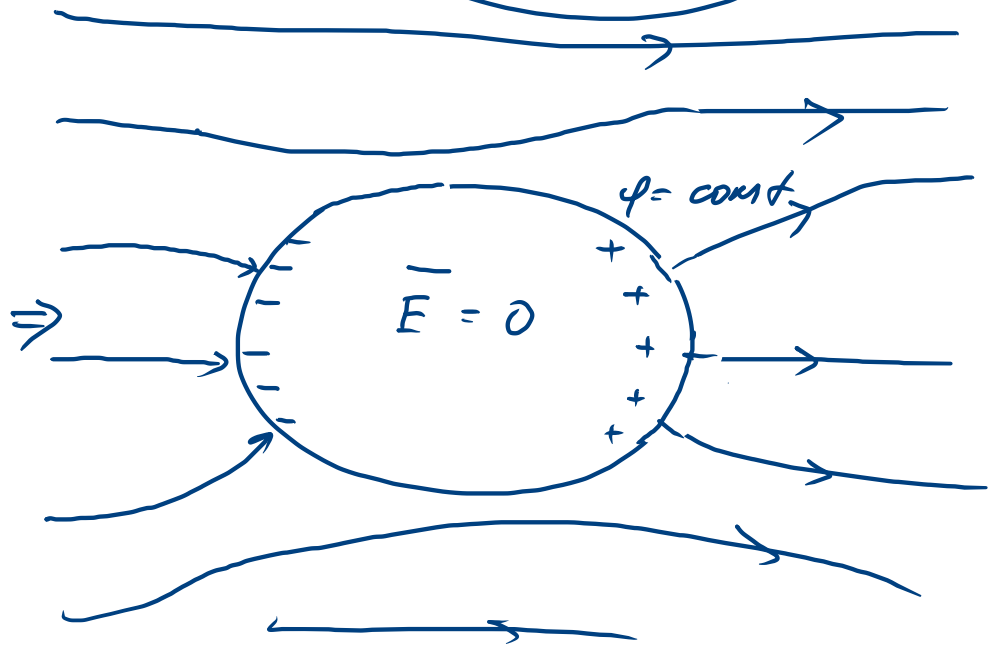
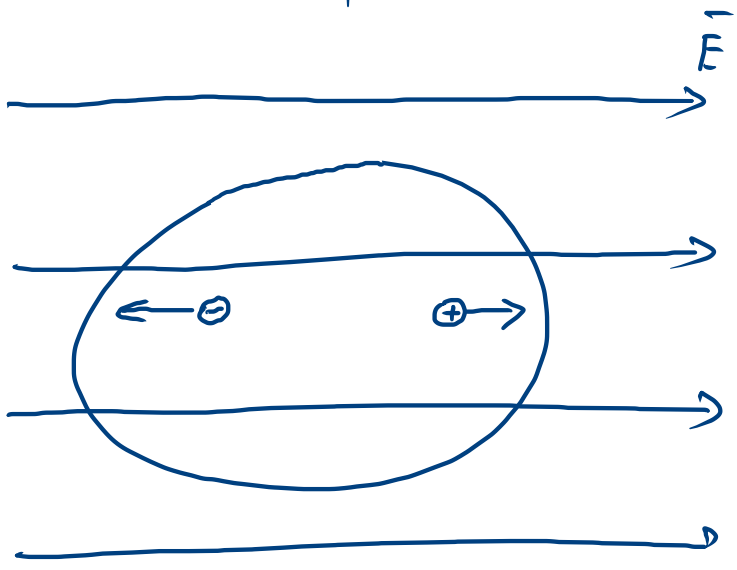
$\sigma$  - поверхн. плотность зарядов

$$\sigma = \frac{dq}{dS}$$

$$\Phi_E = \frac{\sigma S}{\epsilon_0 \epsilon} = ES$$

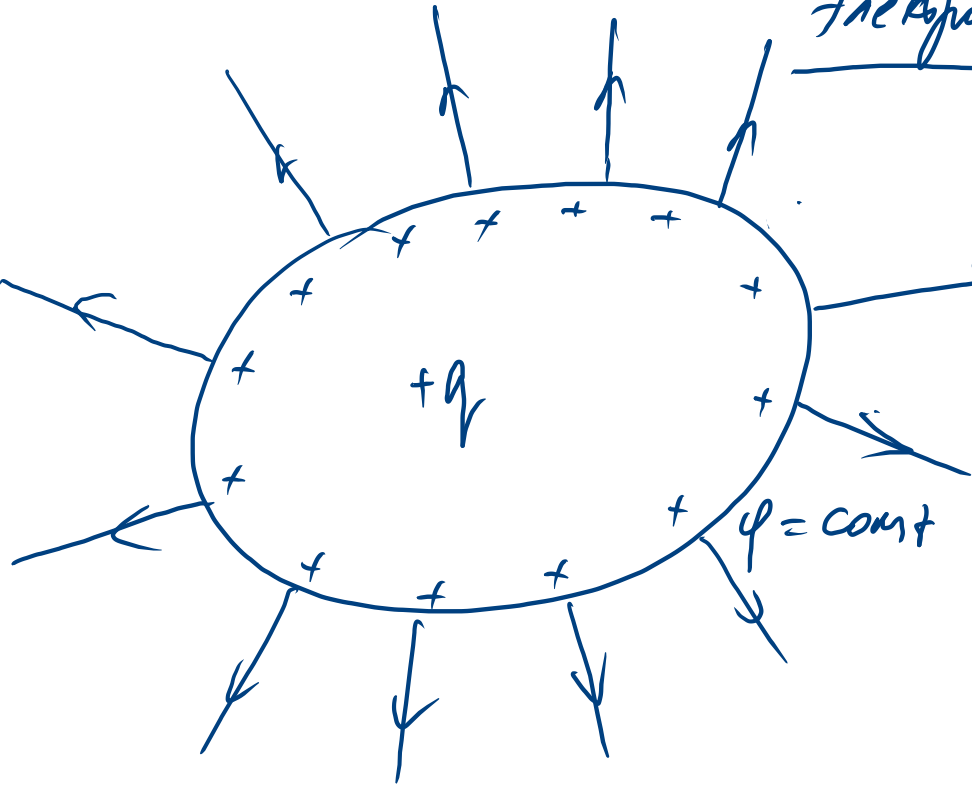
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon}$$

2



Проводник в  
 электрическом  
 поле

# Электрическая емкость проводника

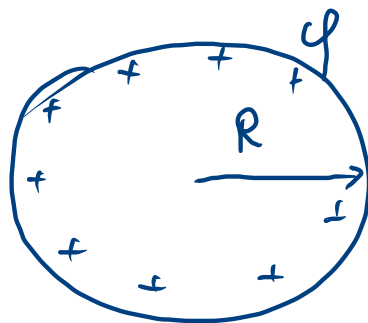


$$q \sim \varphi \quad q = C \varphi$$

$C$  - коэффициент пропорциональности

$C$  - электрическая емкость

$$[C] = \text{заряд} : \varphi$$



$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\epsilon R} \quad ; \quad q = 4\pi\epsilon_0\epsilon R \varphi$$

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R$$

# Конденсаторы

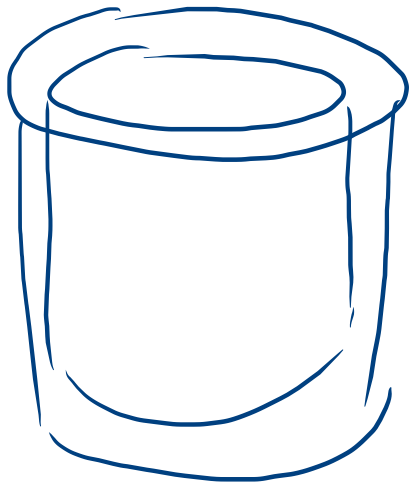
$\varphi = \text{const}$

$$q, \vec{E} = 0$$

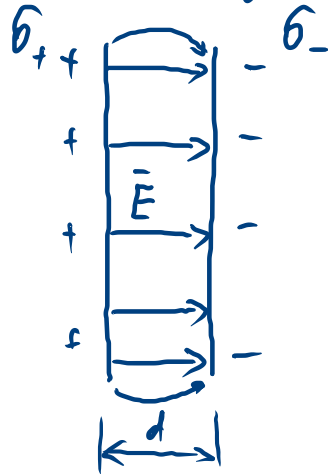
$$q \sim \varphi$$

$$q = C \varphi$$

$$C = 4\pi \epsilon_0 \epsilon R$$



Конденсатор - система из двух проводников (обкладки конденсатора), разделенные диэлектриком



$$\sigma_- = \sigma_+ = \sigma$$

$$q = C(\varphi_1 - \varphi_2) ; \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi$$

$C$  - электрическая емкость конденсатора.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} ; E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

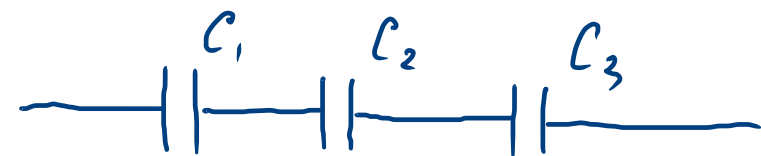
$$\frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} ; \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{C} \quad \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q}{C d} \quad \times S$$

$$\frac{\sigma \cdot S}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q \cdot S}{C \cdot d} ; \frac{q}{\epsilon_0 \epsilon} = \frac{q \cdot S}{C d} ; C \cdot d = \frac{S \epsilon_0 \epsilon}{d}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$



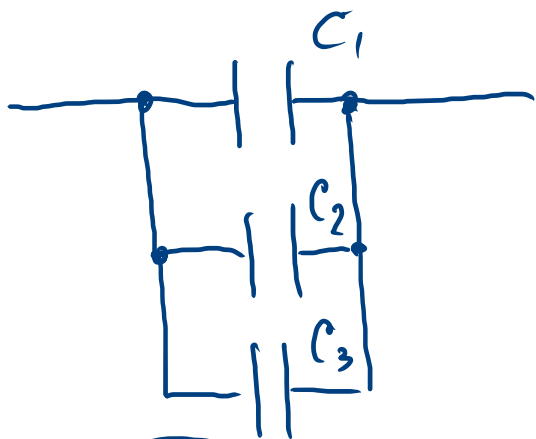
$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$



Последовательное соединение

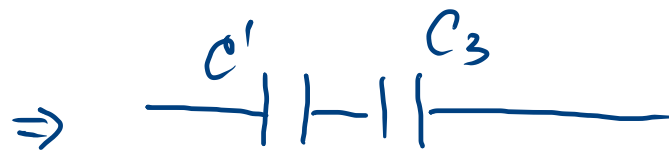
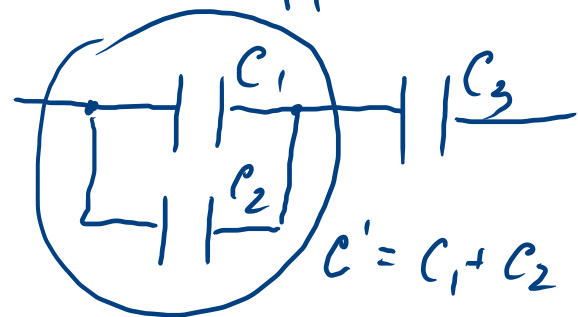
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

~~$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$~~



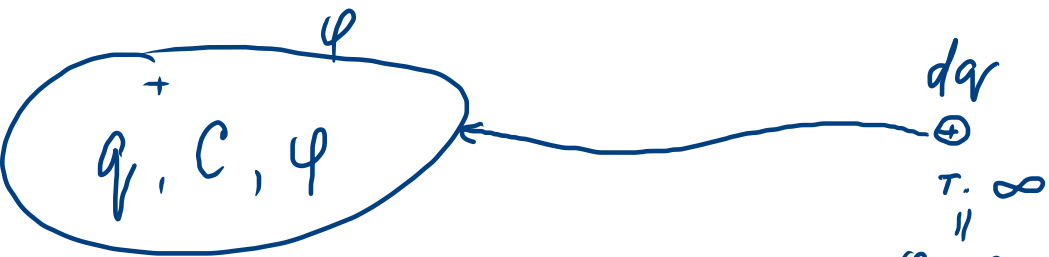
Параллельное соединение

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C'} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3}$$

# Энергия заряженного проводника и конденсатора



$$q - \varphi \quad q = C \varphi$$

$$q + dq - \varphi + d\varphi \quad dq = C d\varphi$$

$$dA = dq \varphi \quad r = \infty \rightarrow \text{поверхность проводника}$$

$$dA = C \varphi d\varphi$$

$$A = \sum dA_i \Rightarrow A = \int dA = \int_0^{\varphi} C \varphi d\varphi = \frac{C \varphi^2}{2} = \Delta W_n = W_{n2} - W_{n1} \quad \begin{matrix} \varphi=0 \\ W_{n1}=0 \end{matrix}$$

$$A = \frac{C \varphi^2}{2} = W_{n2} \rightarrow \varphi = W_n$$

$$W_n = \frac{C \varphi^2}{2}$$

Плоский конденсатор

$$W = \frac{C (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = E d$$

$$W = \frac{C (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon S E^2 d^2}{2}$$

$$W = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 S \cdot d}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2 V}{2}$$

$$V = S \cdot d$$

$\omega = \frac{W}{V}$  — объемная плотность  
энергетической энергии

$$\omega = \frac{\epsilon_0 \epsilon E^2}{2}$$

$E = \text{const}$

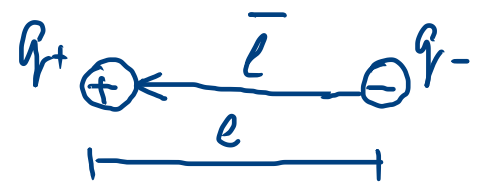
# Диэлектрика. Поляризация диэлектриков

$$q_+ = q_- = q$$

Нет свободных зарядов

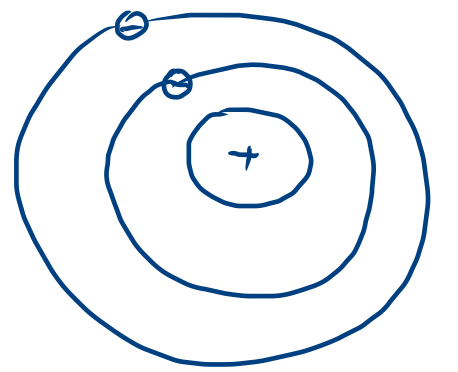
Состоят из атомов и молекул

Молекула в целом нейтральна  
электрически

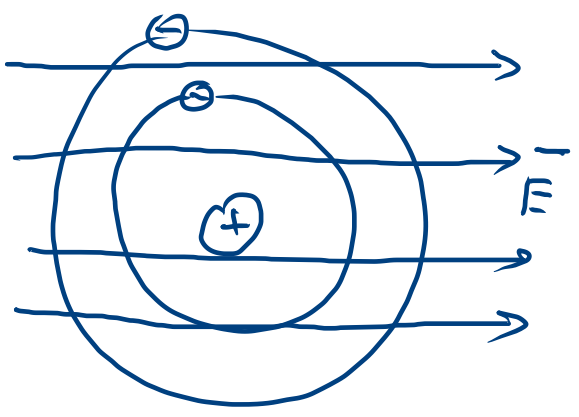
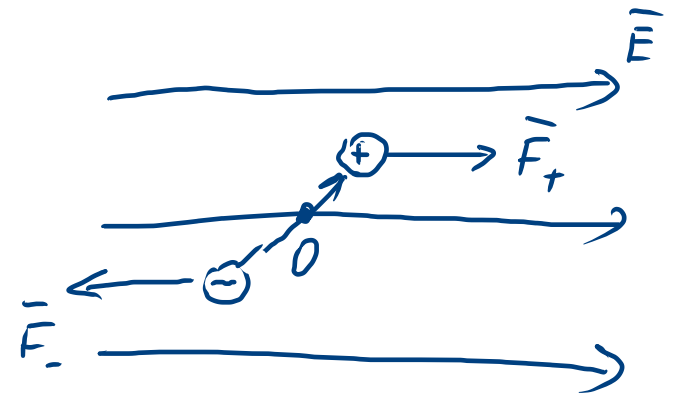


$\bar{l}$  - плечо диполя

$$\bar{p} = q \bar{l} \text{ - дипольный момент}$$

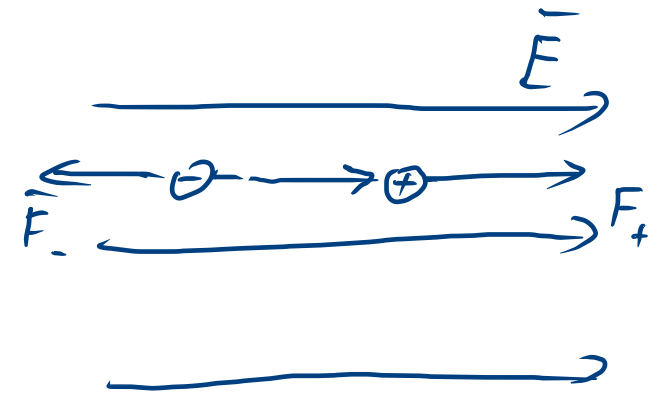


$$\Rightarrow \begin{matrix} + \\ - \end{matrix} \quad \bar{p} = 0; \bar{l} = 0$$



$$\begin{matrix} - & + \end{matrix} \quad \text{Диполь } \bar{p} \neq 0 \text{ электрический}$$

$$\bar{p} = q \bar{l}$$





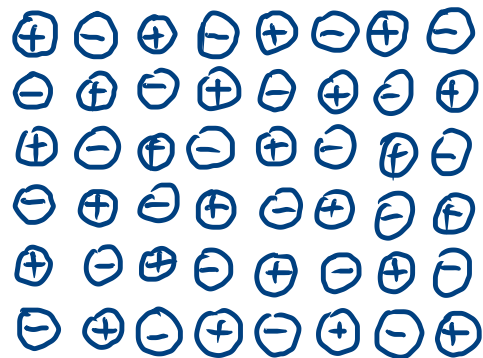
# Виды дипольных

1. Молекула неполярная, центры тяжести положительных и отриц. зарядов совпадают  
 $N_2$ ;  $H_2$ ;  $O_2$ ;  $CO_2$ ;  $CH_4$ ;  
Дипольный момент отсутствует  
Под действием электрич. поля молекулы становятся полярными, обладают дип. моментом

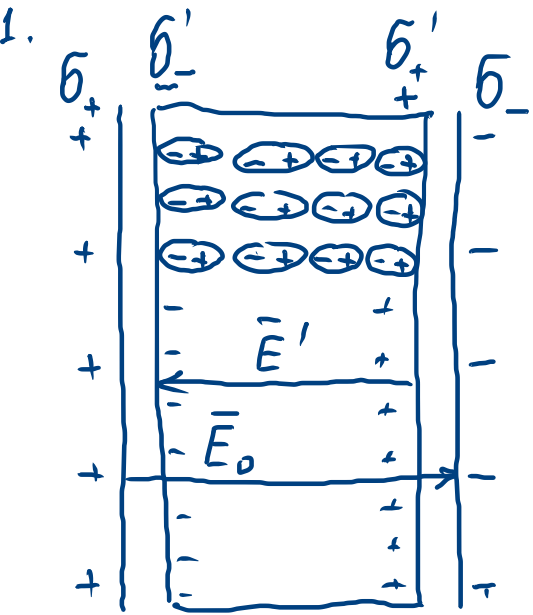
2. Молекула полярная, центры тяжести положительных и отриц. зарядов не совпадают  
Молекулы являются дипольными  
Дипольный момент присутствует

3. Ионные кристаллы  
 $NaCl$ ;  $KCl$ ,  $KBr$

$NaCl$



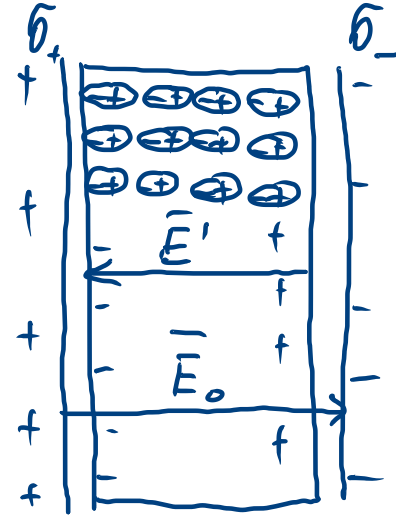
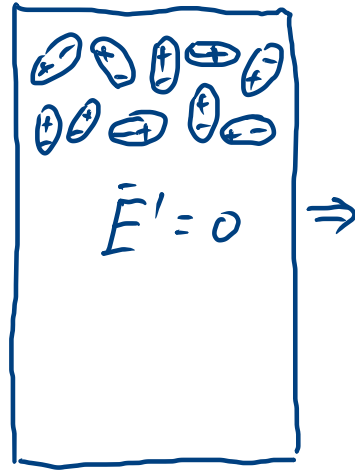
# Поляризация диэлектриков



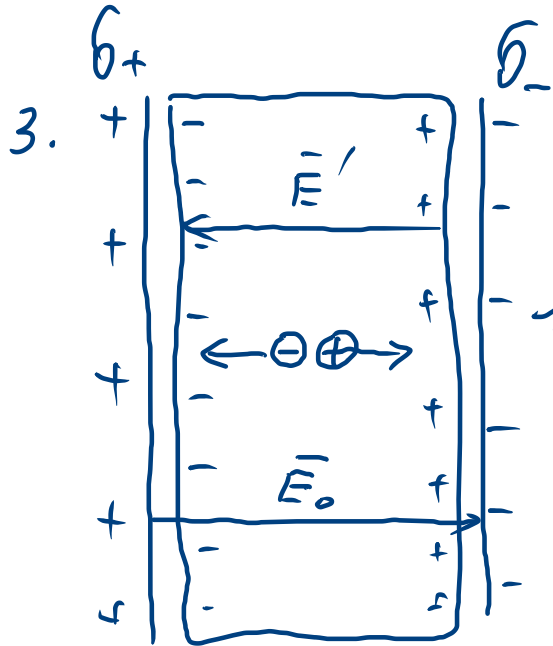
$$\begin{aligned} \vec{E}' \uparrow \uparrow \vec{E}_0 \\ \vec{E}_p = \vec{E}_0 + \vec{E}' \\ E_p = E_0 - E' \\ E_p < E_0 \\ E' = \frac{\sigma'_+}{\epsilon_0} \end{aligned}$$

$$E_p = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E_0}{\epsilon_0} = \frac{\epsilon_r E_0}{\epsilon_0}$$

2.



$$\begin{aligned} \vec{E}_p = \vec{E}_0 + \vec{E}' \\ E_p = E_0 - E' \\ E_p < E_0 \end{aligned}$$



# Поляризуемость диэлектрика

Вектор электрического смещения

$$\boxed{\epsilon' = \underline{P}}$$

самостоятельно



$$\underline{\vec{P} = q \vec{E}}$$

$$\vec{P}_0 = \sum_{i=1}^N \vec{P}_i$$

$V$  - объем диэлектрика

В эл. поле

$$\frac{\vec{P}_0}{V} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{P}_i}{V} = \underline{\vec{P}}$$

Поляризуемость диэлектрика

$\vec{P}_i$  - дипольный момент молекул

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

$$\underline{\vec{P} = \epsilon \chi \vec{E}}$$

$i = 1 \dots N$

$N \approx N_A$

$\chi$  - диэлектрическая восприимчивость

$\chi > 0$

$$E_p \Rightarrow E$$

$$E = E_0 - E' = \vec{E}_0 - \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} = E_0 - \frac{P}{\epsilon_0}$$

$$E = E_0 - \alpha E \Rightarrow E(1 + \alpha) = E_0 \quad E = \frac{E_0}{1 + \alpha} = \frac{E_0}{\epsilon}$$

$$1 + \alpha = \underline{\underline{\epsilon}} \quad ; \quad \bar{D} = \epsilon_0 \epsilon \bar{E}$$

$\bar{D}$  - электрическое смещение  
(электрическая индукция)

$\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость

---