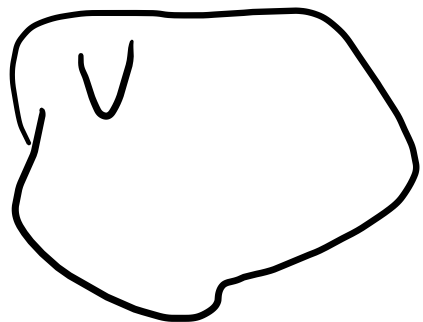


# Глава 14. Эл. стат. поле в диэлектриках

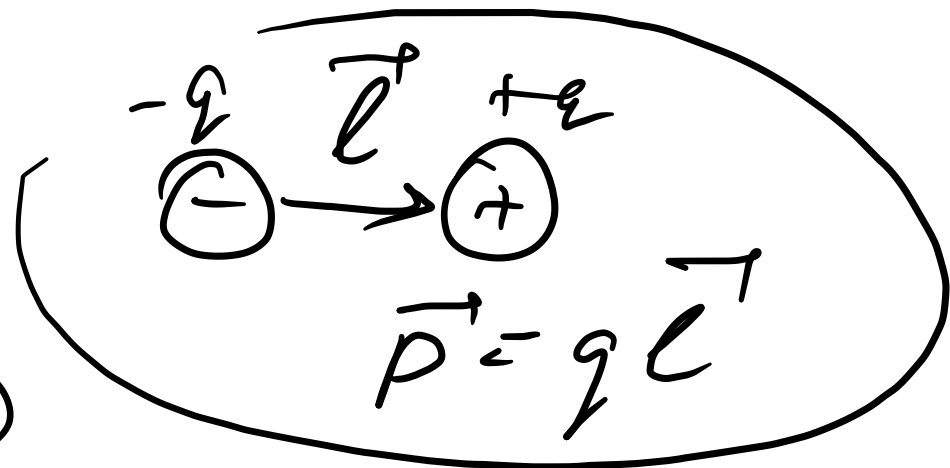
## 14.1 Поляризация



Рассм. эл. нейтр.

объем, в кот.  $\rho(\vec{r}) = \frac{dq}{dV} \neq 0$

$$\int_V \rho dV = 0$$

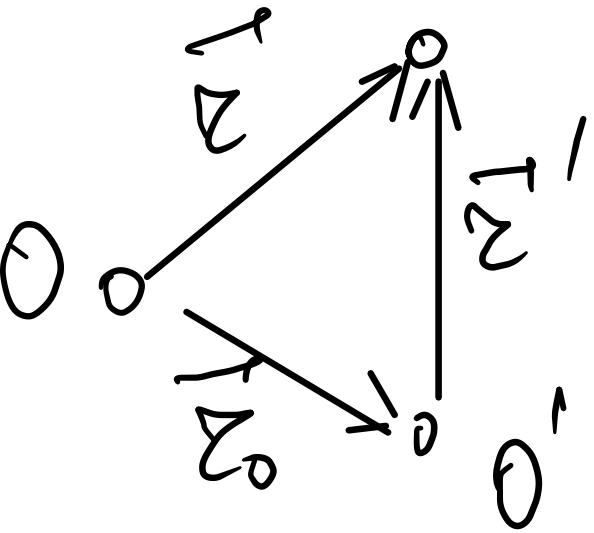


Дипольный момент

$$\vec{p} = \int_V \vec{r} \rho dV$$

$\vec{r}$  некое произвольное в  $V$  направление.

Векторы  $O' \neq O$



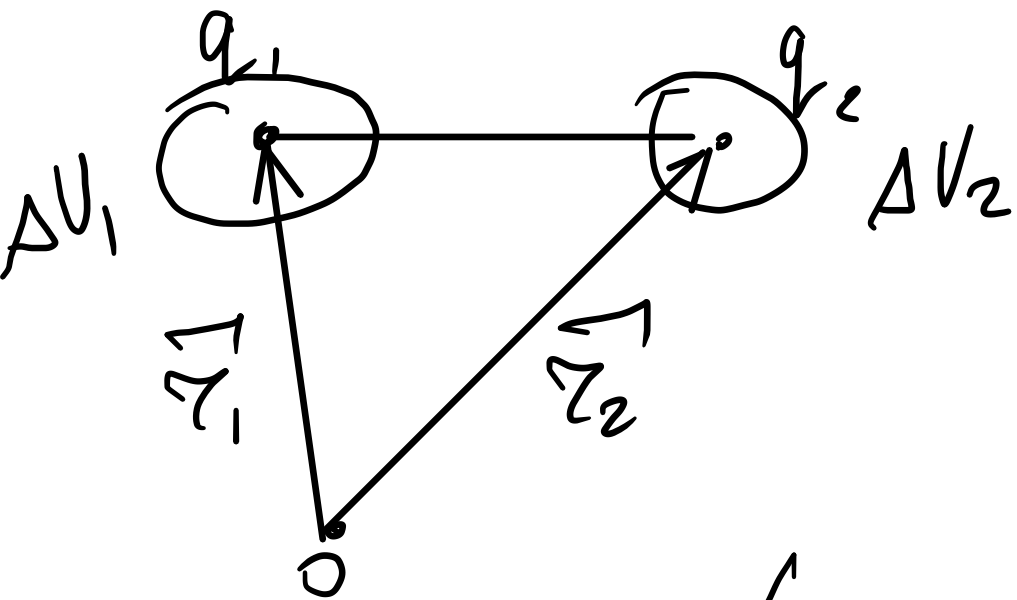
$$\vec{r}' = \int \vec{r}' \rho dV = \int (\vec{r} - \vec{r}_0) \rho dV =$$

$$= \int \vec{r} \rho dV$$

$$- \int \vec{r}_0 \rho dV = \vec{r}$$

з.т.з.

2 масс. газа  $\Rightarrow$  расщ. на две  $\Delta V_1$  и  $\Delta V_2$



$$\vec{P} = \int_V \rho \vec{\Sigma} dV =$$

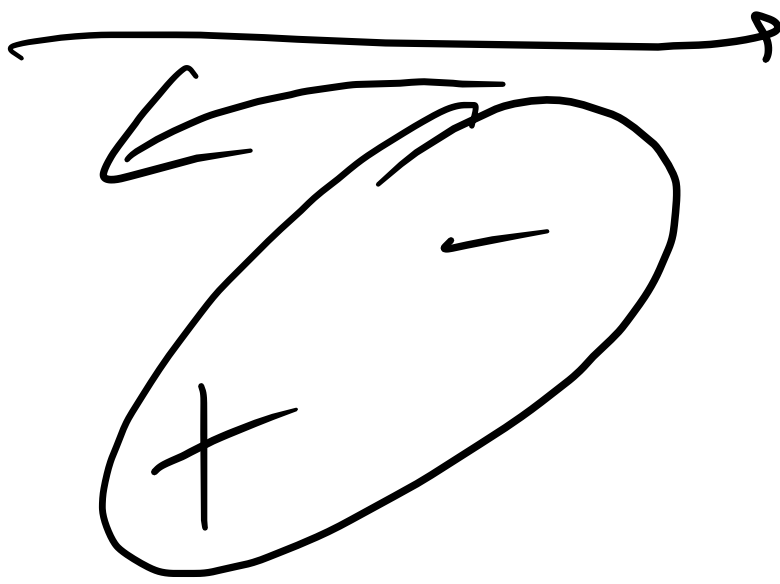
$$= \int_{\Delta V_1} \vec{\Sigma} \rho dV + \int_{\Delta V_2} \vec{\Sigma} \rho dV =$$

$\Rightarrow$  т.к.  $\Delta V_{1,2}$  - малые  $\Rightarrow \vec{\Sigma} \approx \vec{E}_{1,2} \Rightarrow$

$$= \vec{E}_1 \int_{\Delta V_1} \rho dV + \vec{E}_2 \int_{\Delta V_2} \rho dV = q_1 \vec{E}_1 + q_2 \vec{E}_2$$

$$\left. \begin{aligned} q_2 &= q_1 \\ q_1 &= -q_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow \vec{P} = q(\vec{\Sigma}_2 - \vec{\Sigma}_1) = q \vec{e}$$



$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{P} \vec{E}$$

$$F_i = \sum_j P_j \frac{\partial E_i}{\partial x_j}$$

$$\vec{F} = (\vec{P} \nabla) \vec{E}$$

# Диэлектрики

молекулярные

кристаллические

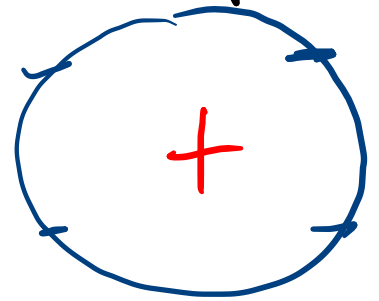
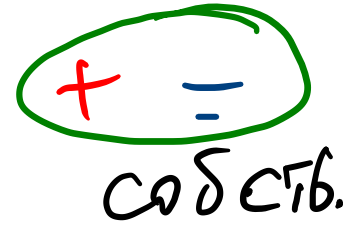
полярные

неполярные

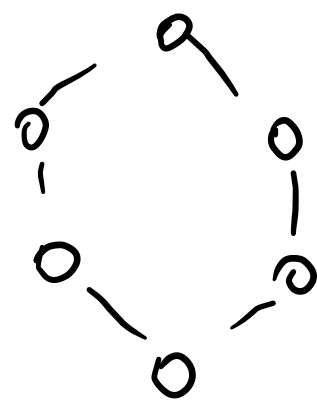
$NaCl$

$C$

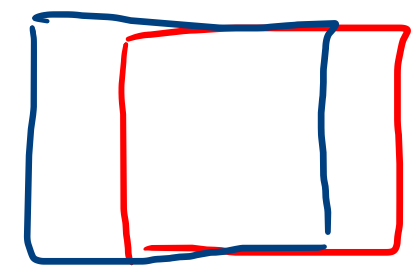
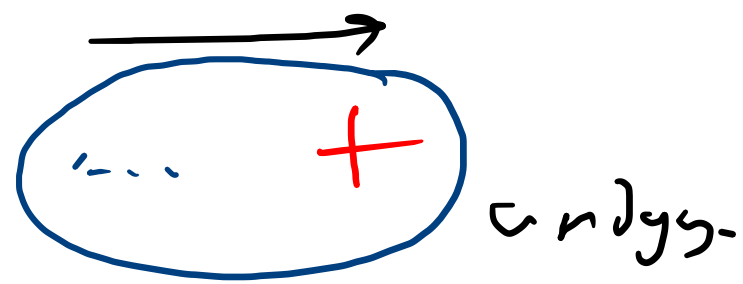
$E=0$

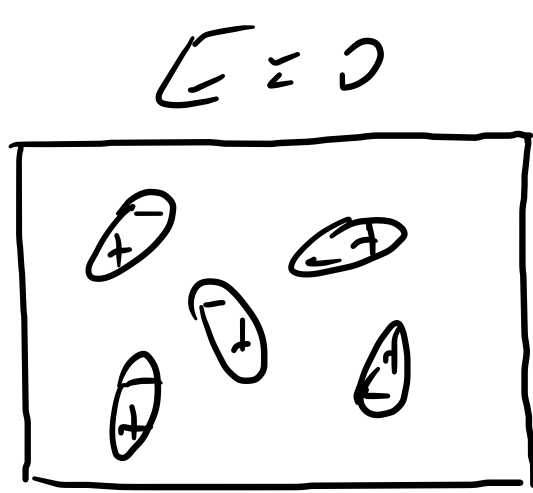


+	-	+
-	+	-
+	-	+

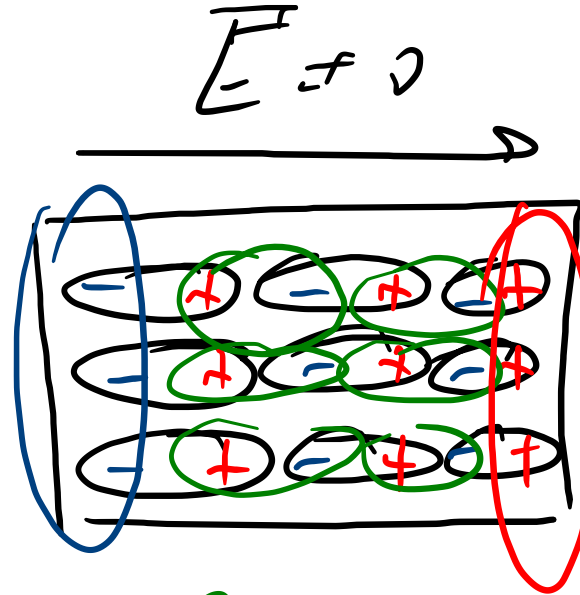


$E \neq 0$





$\Rightarrow$



связанный заряд  
 $\rho', \sigma', \rho'$

Явление заисл. в том, что дипол. при помещении в поле приобретает дип. мом. —

— полурядная диэлектрика

Полурядованность

$$\vec{P} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta V}$$

$\Delta \vec{p}$  — дип. мом.  $\Delta V$

Для поля.  $\Delta \vec{p} = \sum_{\Delta V} \vec{p}_i \rightarrow$  дип. мом  $1^{\text{й}}$  маленький,

В общ. случае  $\vec{P} \propto \vec{E}$

скалярн., векторн., тензорн.  $\rightarrow \vec{P}$  сложн. завис. от  $\vec{E}$

Для обычных диэл.

$$P_i = \epsilon_0 \sum_j \chi_{ij} E_j + \epsilon_0 \sum_{j,k} \chi_{ijk} E_i E_j + \dots$$

$$i, j, k = x, y, z \\ \underline{1, 2, 3}$$

$\chi_{ij}$  - тензор

диэл. восприимчивости

играет роль  
только

в сильных  
полях

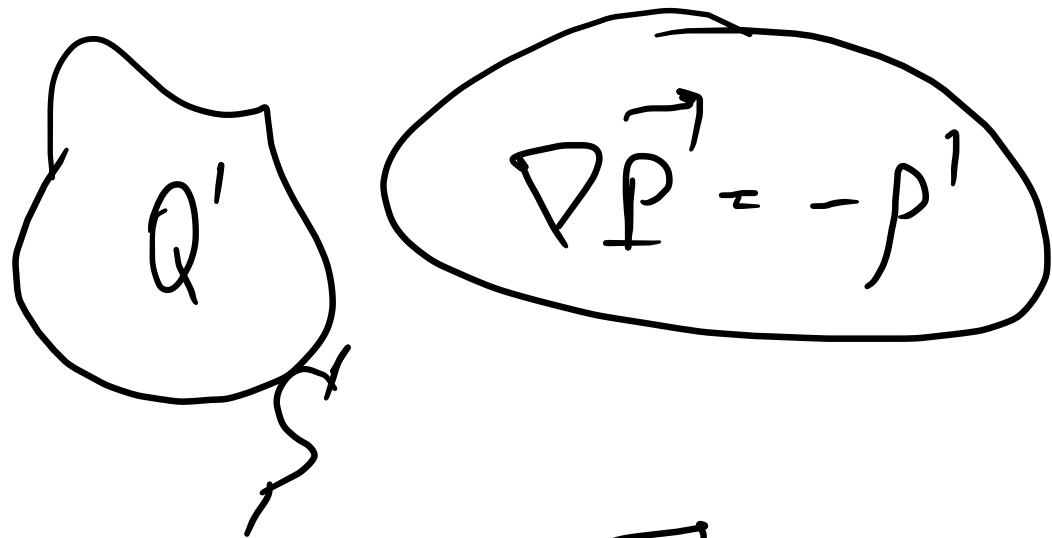
Если хватает  $\vec{r}$  значения разл-е;

$$P_i = \epsilon_0 \sum_j \alpha_{ij} E_j \Rightarrow \text{линейный ДУЭЛ.}$$

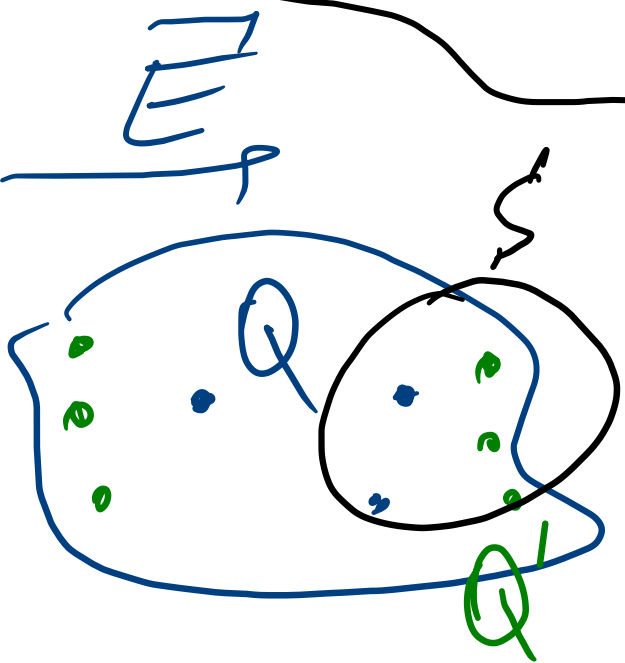
Для изотропных лин. ДУЭЛ.  $\vec{P} = \epsilon_0 \alpha \vec{E}$



$$\oint_{\vec{s}} \vec{P} d\vec{s} = -Q' = -\int_V \rho' dV$$



T. layera du bpa P



T. layera du  $\vec{E}$ ;

$$\oint_{\vec{s}} \vec{E} d\vec{s} = \frac{Q+Q'}{\epsilon_0};$$

$$\nabla \vec{E} = \frac{\rho+\rho'}{\epsilon_0}$$

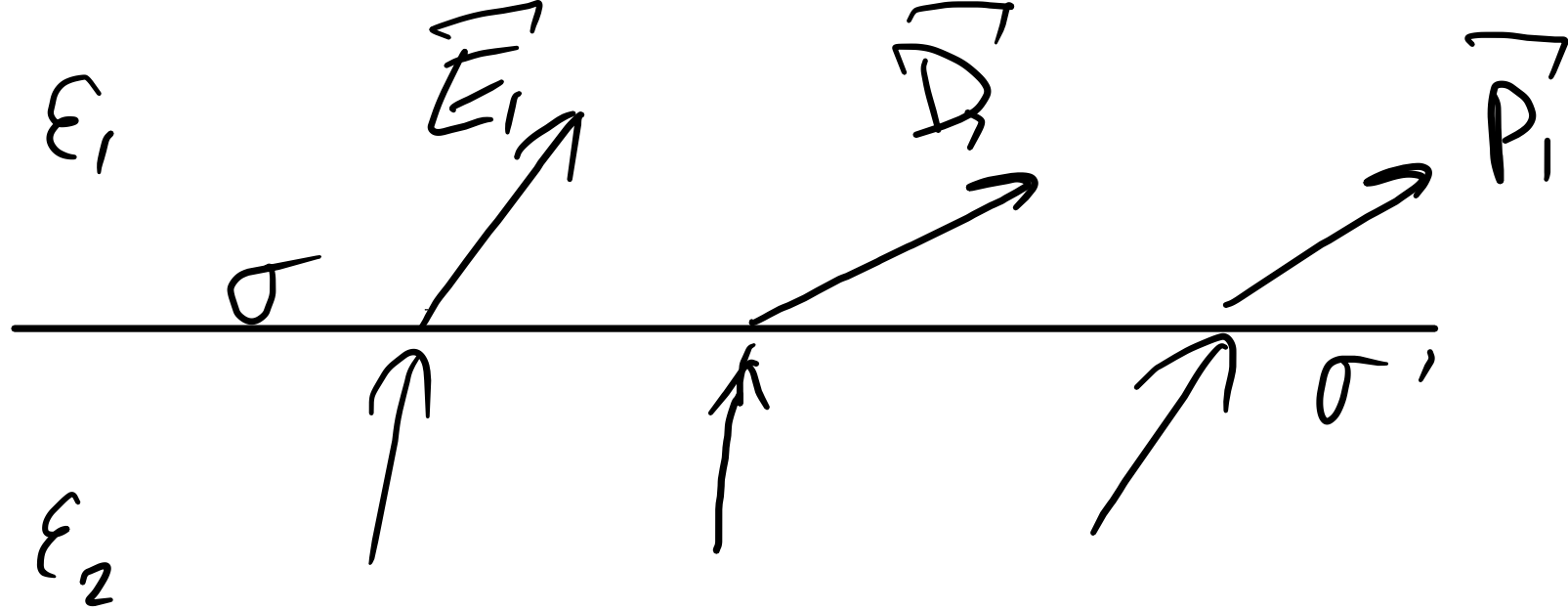
$$\Rightarrow \int_V (\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) dV = Q$$

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

Эл. смещение  
(Эл. стат., индукция)

$$\int_V \vec{D} d\vec{V} = Q$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

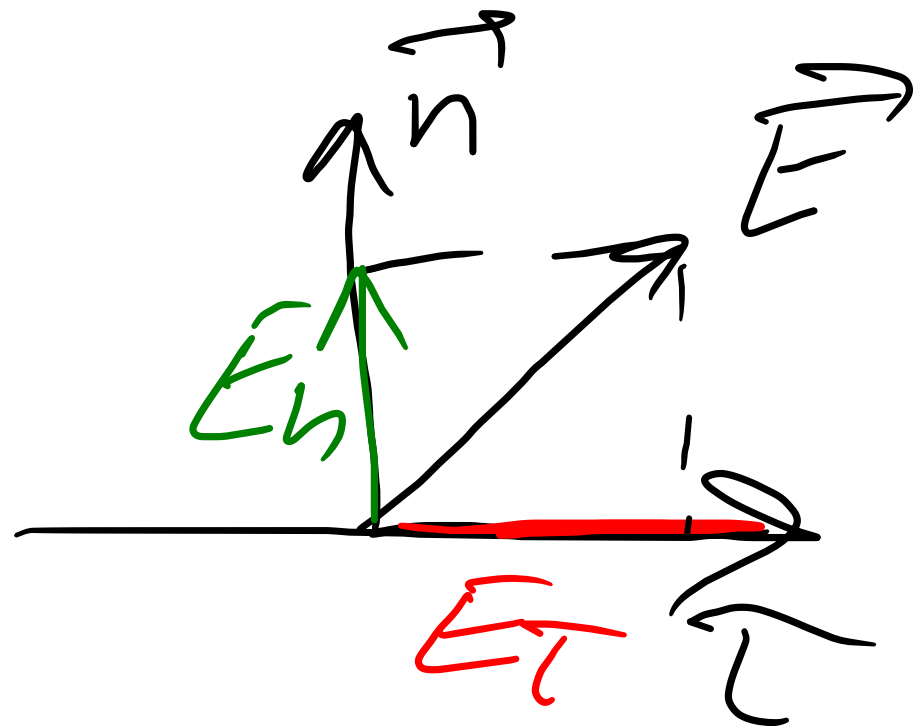


$$E_{1t} - E_{2t} = 0$$

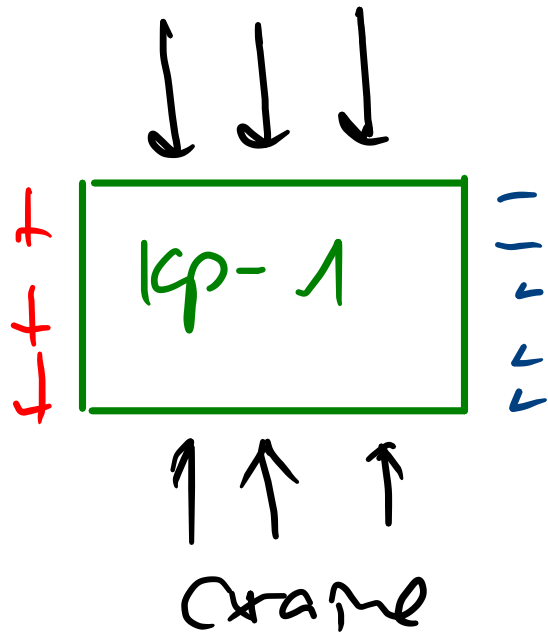
$$D_{2n} - D_{1n} = \sigma$$

$$P_{2n} - P_{1n} = -\sigma'$$


---



# 14.2 Преэлектричество



Преэвл. эл. энергетич. уст.

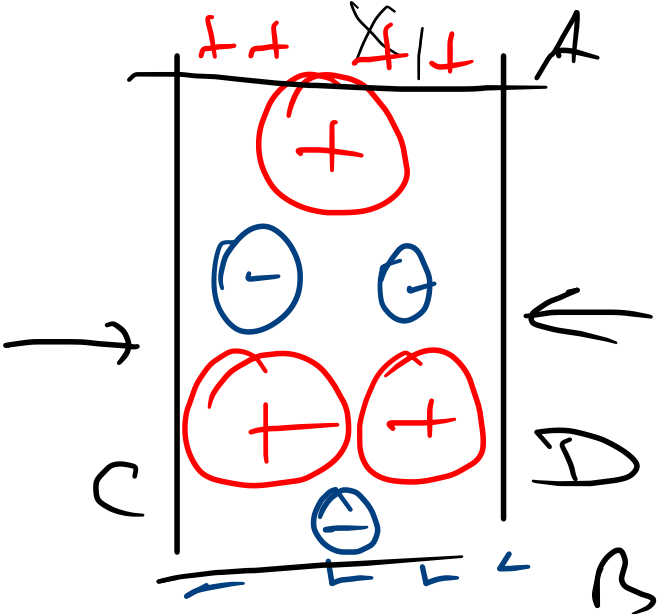
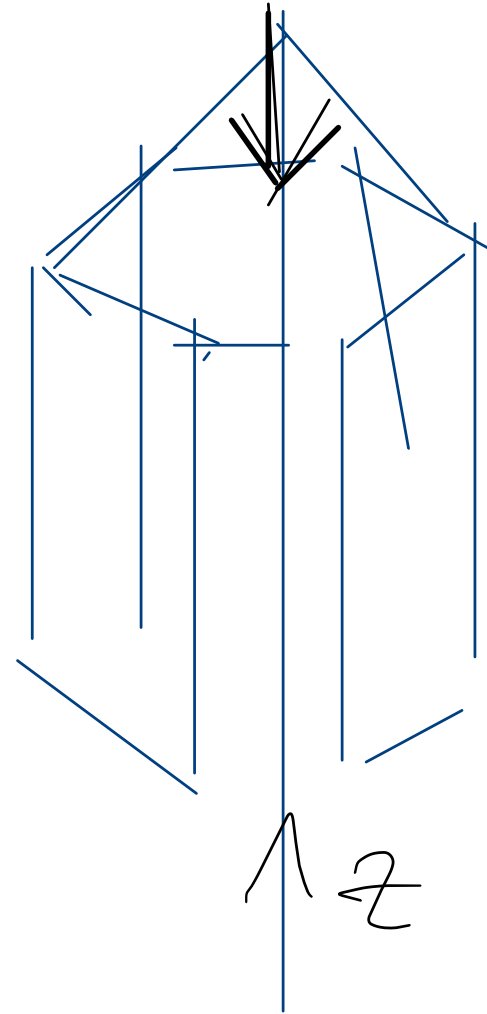
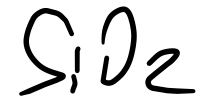
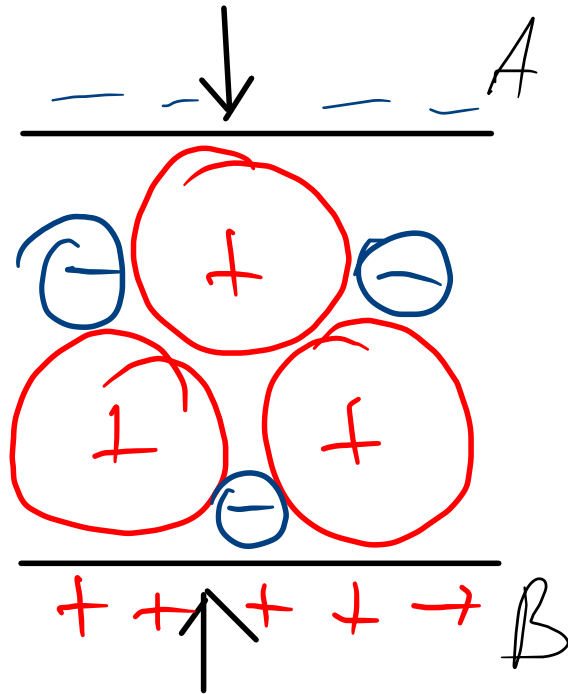
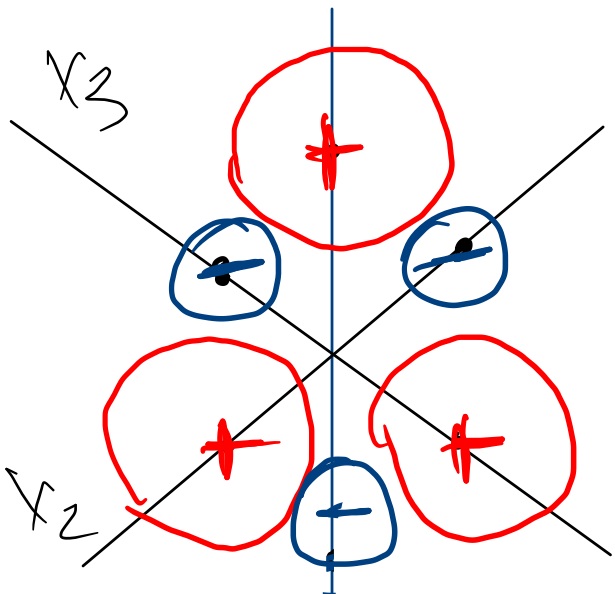
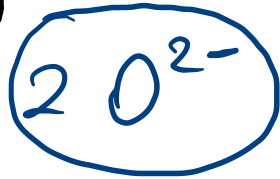
применены схемы —

— применены безэвл. эргод.  
(ИВРэ П. и Ж. Кюри)

Кварц, азот. соль, титанат бария ...

32 кр. типов → сери у 20 типов,

Модельное рассм-е на осн. кварца



$x_1, x_2, x_3$  —

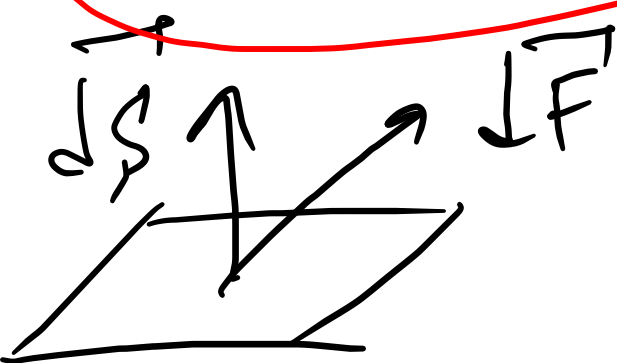
— координатные оси

Ср.  $\parallel x_1 \Rightarrow A \text{ " " } B \text{ " + "}$  — продольный п.з.з.

$\perp x_1 \Rightarrow A \text{ ' ' } B \text{ ' - '}$  — поперечный п.з.з.

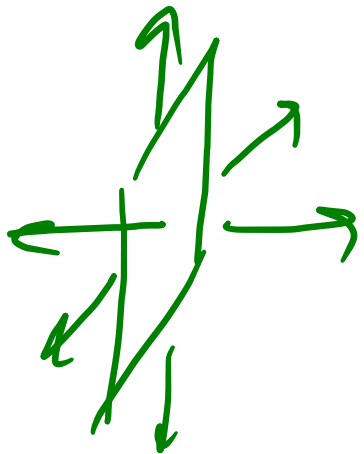
По зав. закона деп. възбуждане силе

$$F = k \Delta l$$



$$\tau_{ij} = \frac{dF_i}{dS_j}$$

Тензор  
напрежение



$$\epsilon_{ij}$$

модул Юнга  $E$   
коэфф. Пуассона  $\mu$

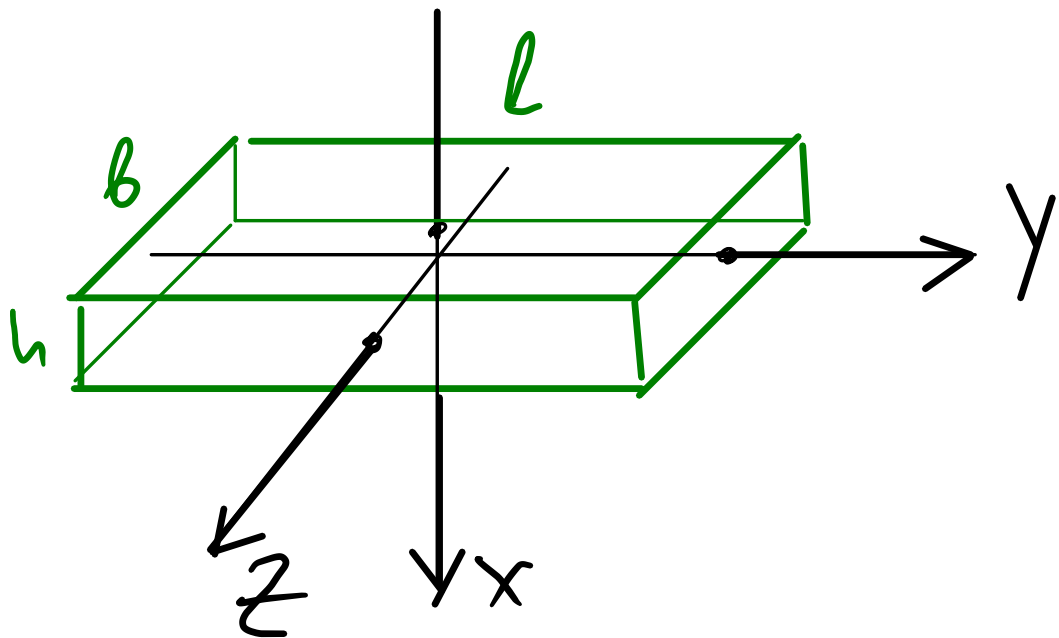
$$\tau_{ij} = \sum_{kl} C_{ijkl} \epsilon_{ij}$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ji}$$

$$\epsilon_{ij} = \epsilon_{ji}$$

Оси  $X_1, X_2, X_3$  — электр. осн / выходов  $X$

$Z$  — оптич. ось



Если нет касат. напря.  
то (для кварца)

$$P_x = d_{11} (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})$$

$d_{11}$  — пьезоэлектр. модуль

$$d_{11} = 2,33 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}}{\text{м}} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

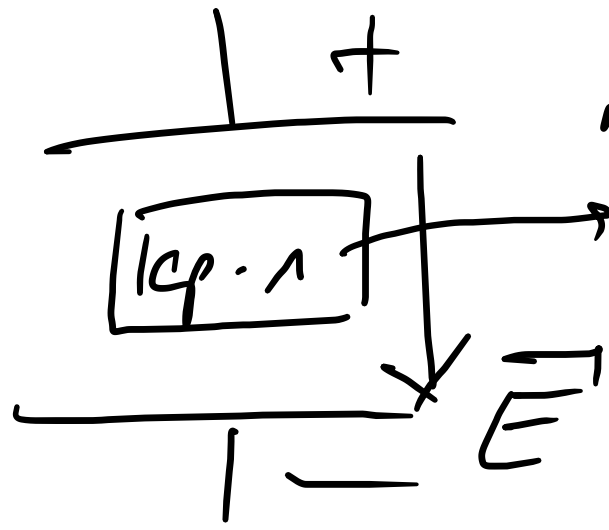
$$\sigma_{xx} = 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \quad \sigma_{yy} = 0$$

$$\sigma \cdot P_x = 2,33 \cdot 10^{-12} \cdot 10^5 = 2,33 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}; \quad E_x = \frac{\sigma'}{\epsilon_0} = 24,0 \text{ В/см}$$

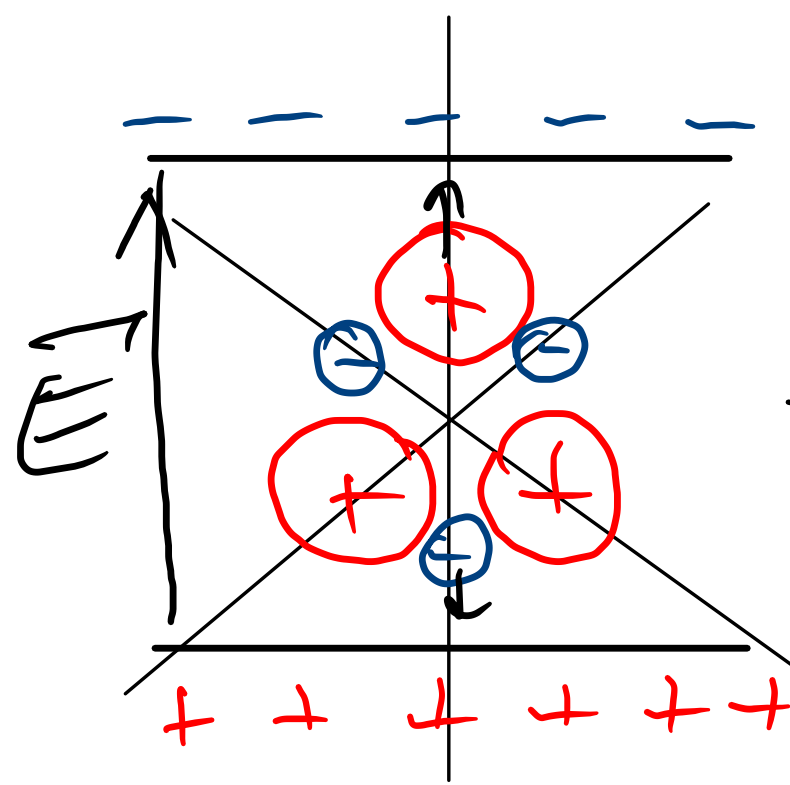
$h = 0,5 \text{ см} \quad n = 1,20$

Обратный п.э.э.

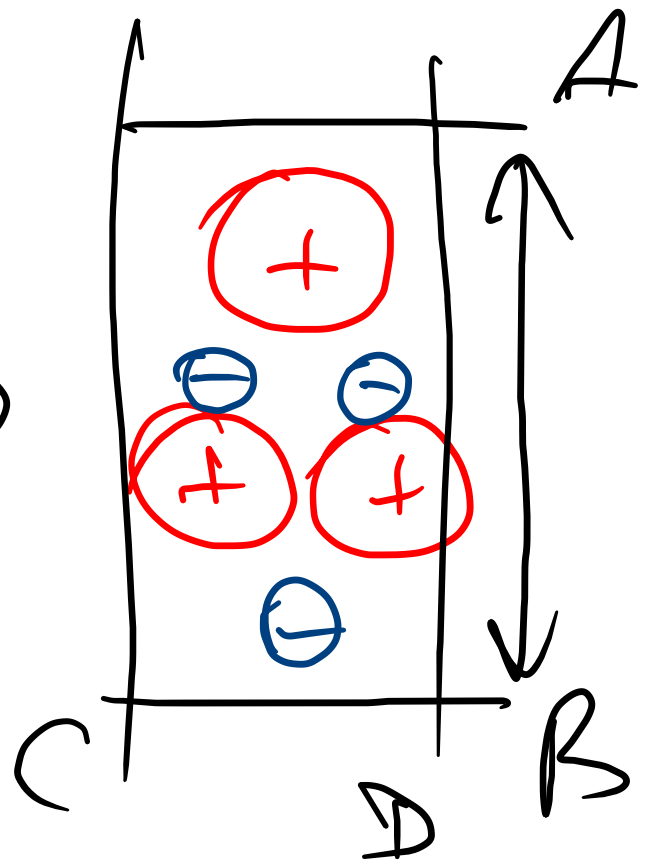
( $|\psi\rangle_2$ . Линиями)



напряж. деформ.  
 $\tau \Rightarrow \epsilon$



$\Rightarrow$



AB - пара  
 CD - контра



В обш. случае н.д.д. завися в п.д. ст. касат, крив.

$$\tau_1 = \tau_{xx}; \tau_2 = \tau_{yy}; \tau_3 = \tau_{zz}$$

$$\tau_4 = \tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_5 = \tau_{xz} = \tau_{zx}; \tau_6 = \tau_{xy} = \tau_{yx}$$

$$D_i = \sum_k d_{ik} \tau_k$$

$$i = 1, 2, 3 \text{ (x, y, z)}$$

$$k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$d_{ik}$  — матрица  $3 \times 6 = 18$  комм.

иногда модули

Чем больше сумма-9 14-19, тем меньше  
независ. форм.

Кварц:  $d_{12} = -d_{11}$ ;  $d_{25} = -d_{14}$ ;  $d_{26} = -2d_{11}$   
остальные — 0

независ.  $d_{11}$  и  $d_{14}$

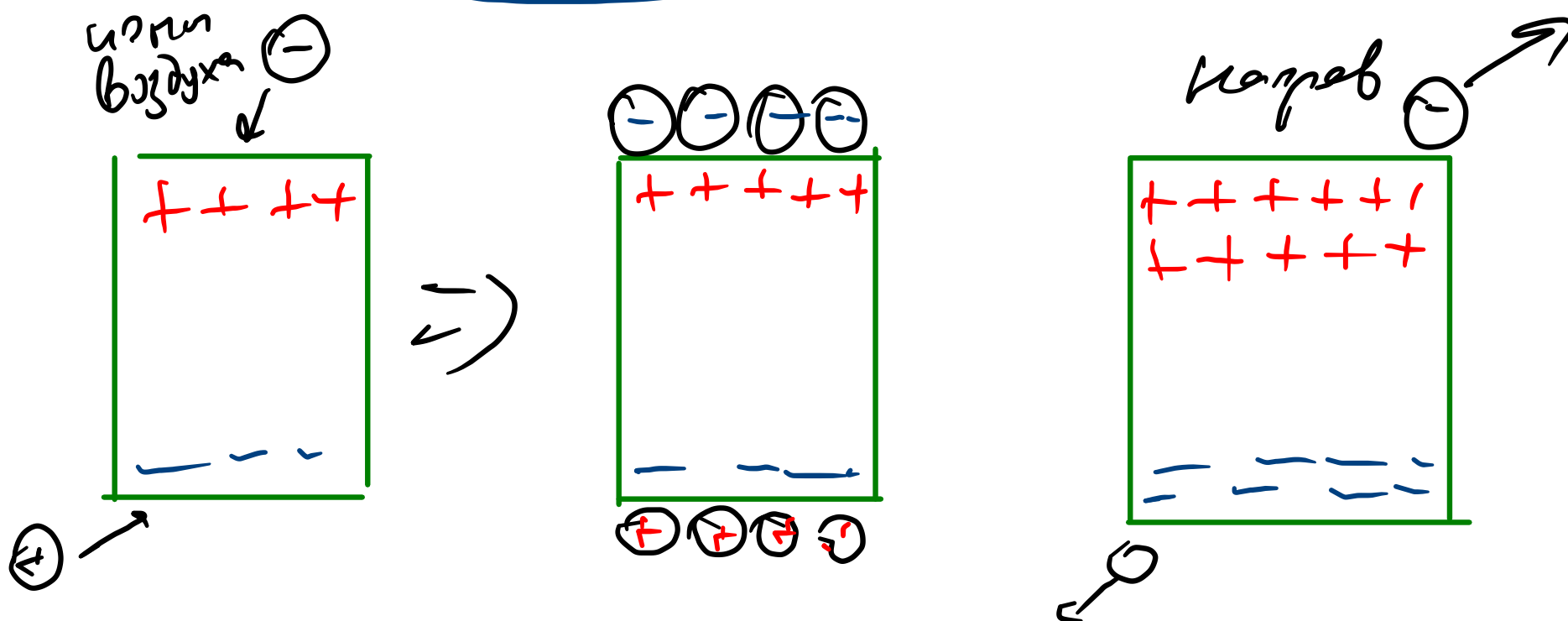
$$\begin{cases} P_x = d_{11}\tau_1 - d_{11}\tau_2 + d_{14}\tau_4 \\ P_y = -d_{14}\tau_5 - 2d_{11}\tau_6 \\ P_z = 0 \end{cases}$$

---

# 14.3 Пирозлектричество и сегнетоэлектричество

Пирозлектричество — возникает выделенная заряды при нагреве

набл. спонтанная поляризация в отсутствие Э. поля.



Тупоугольный  
...

Э иррац. у кат. энергет. надл. в Т.Кюри  
Т.н. ионной обл.  $T_1 < T < T_2$

Кроме того, у них в сравн. с другими полями  
можно  $\vec{P} \rightarrow -\vec{P}$

Сегнетоэлектрики

В ион. обл. — ионная кр. фаза  
В не ион. обл. — не ион.

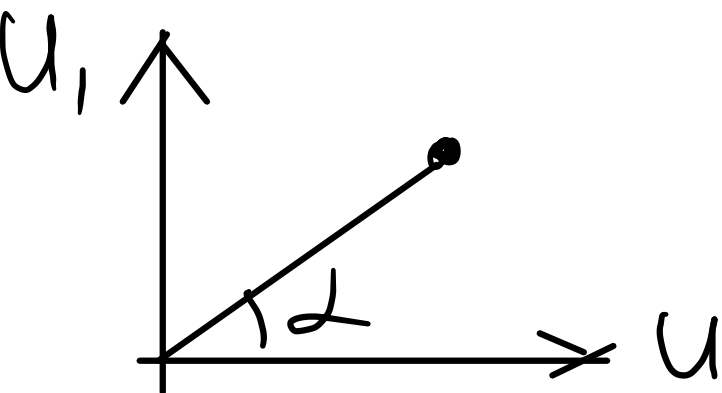
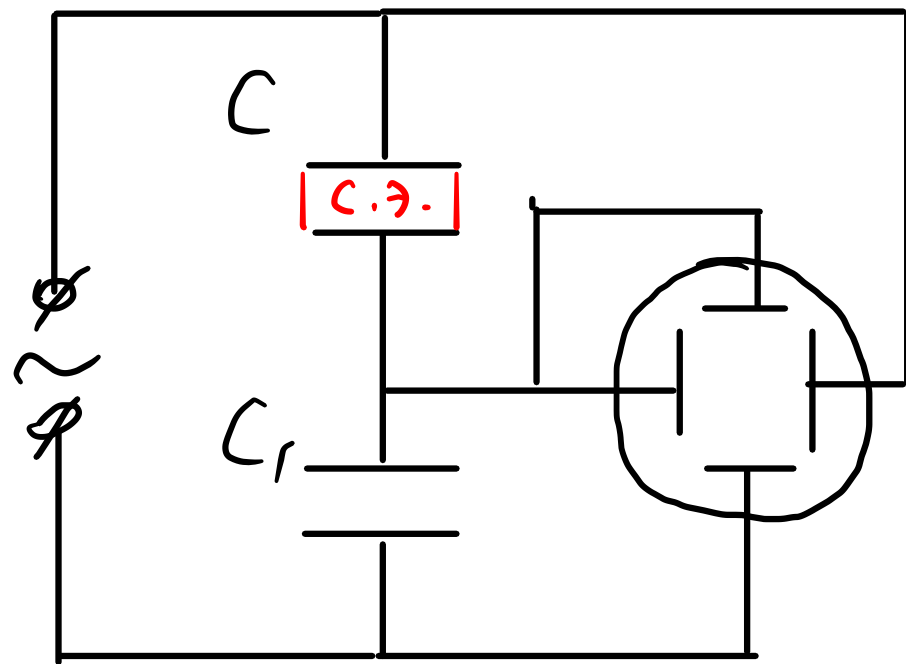
Ферро  
электрики

у С.Т. — очень высокие

диэл. проницаемость

$\epsilon \approx 10^4$

Эффективность, т.е. сила, зависит не только от усл. в данный момент, но и от усл. в более ранние моменты.



Ручер  $\vec{D}$  - мощность } обкладкам  
 $\vec{J}$  - преломл }  $C_1 = C_2$

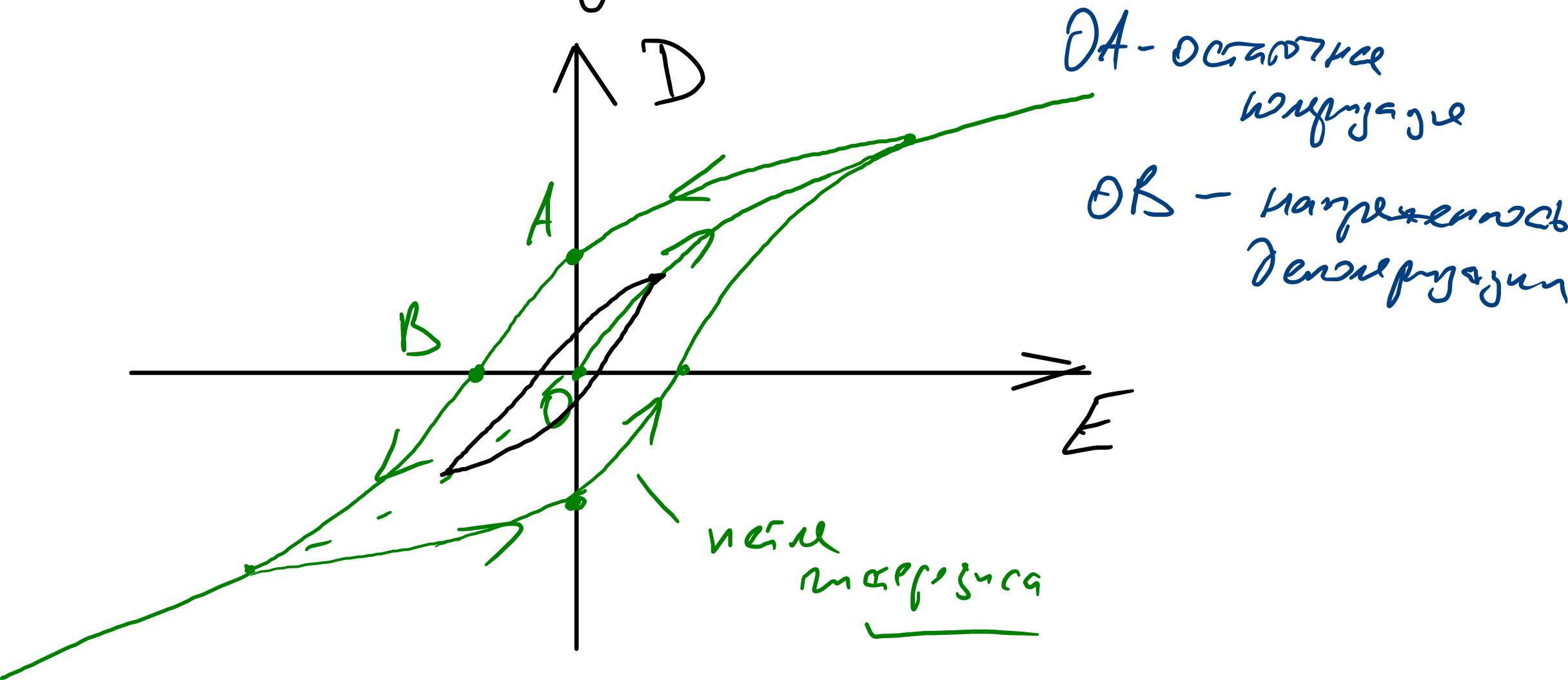
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}; \quad E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$U = E \cdot d = \frac{\sigma d}{\epsilon \epsilon_0}$$

$$U_1 = E_1 \cdot d = \frac{\sigma d}{\epsilon_0}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1}{U} = \frac{\frac{\sigma d}{\epsilon_0}}{\frac{\sigma d}{\epsilon \epsilon_0}} = \epsilon = \frac{D}{\epsilon_0 E}$$

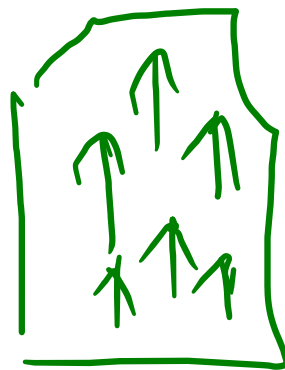
$$x \sim \varepsilon \sigma \bar{E}; \quad y \sim D$$



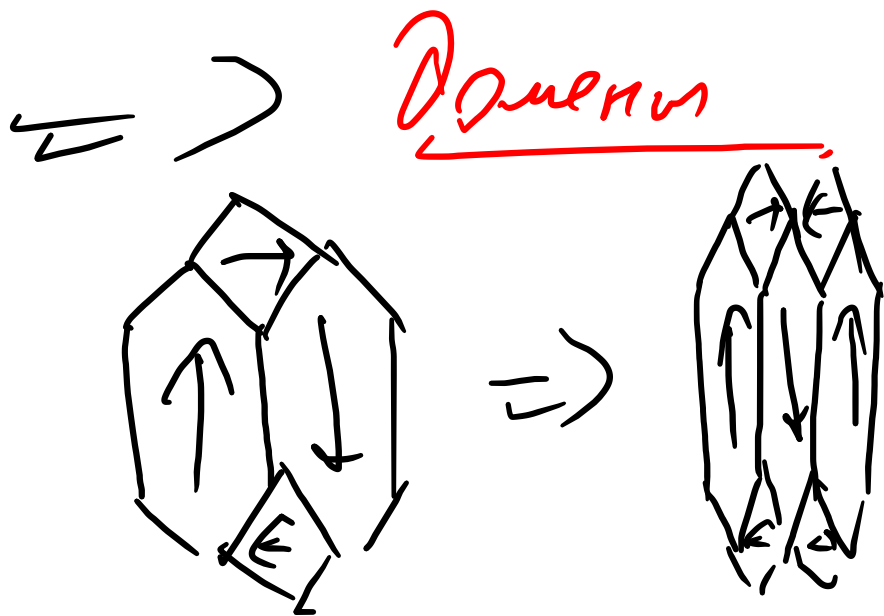
У с.э.  $\exists$  сильная связь  $\rightarrow$  дин. мом. магнет.

или вынуждено выстраиваться ||-но.

— спонтанно намагничен



С др. стороны, ос. катод весь  $\nabla$   
намагничен — не вынуждено упор.



$\exists$  из-за упоряд.  
на зрительск.  
результат

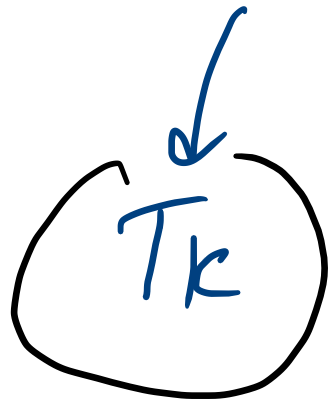
$\rightarrow$   $\delta$  сечение результат домены.



Темп кипи - темп. разбора кипения ( $2^{\circ}$  под)

С.Э. - ДУАЛ

Закон Кирп-Вейсса



Вдлужи  $T_k$ :

$$\alpha = \epsilon - 1 = \frac{A}{T - T_0}$$

$T_0$  - темп. Вейсса  
( $T_0 \approx T_k$ )