

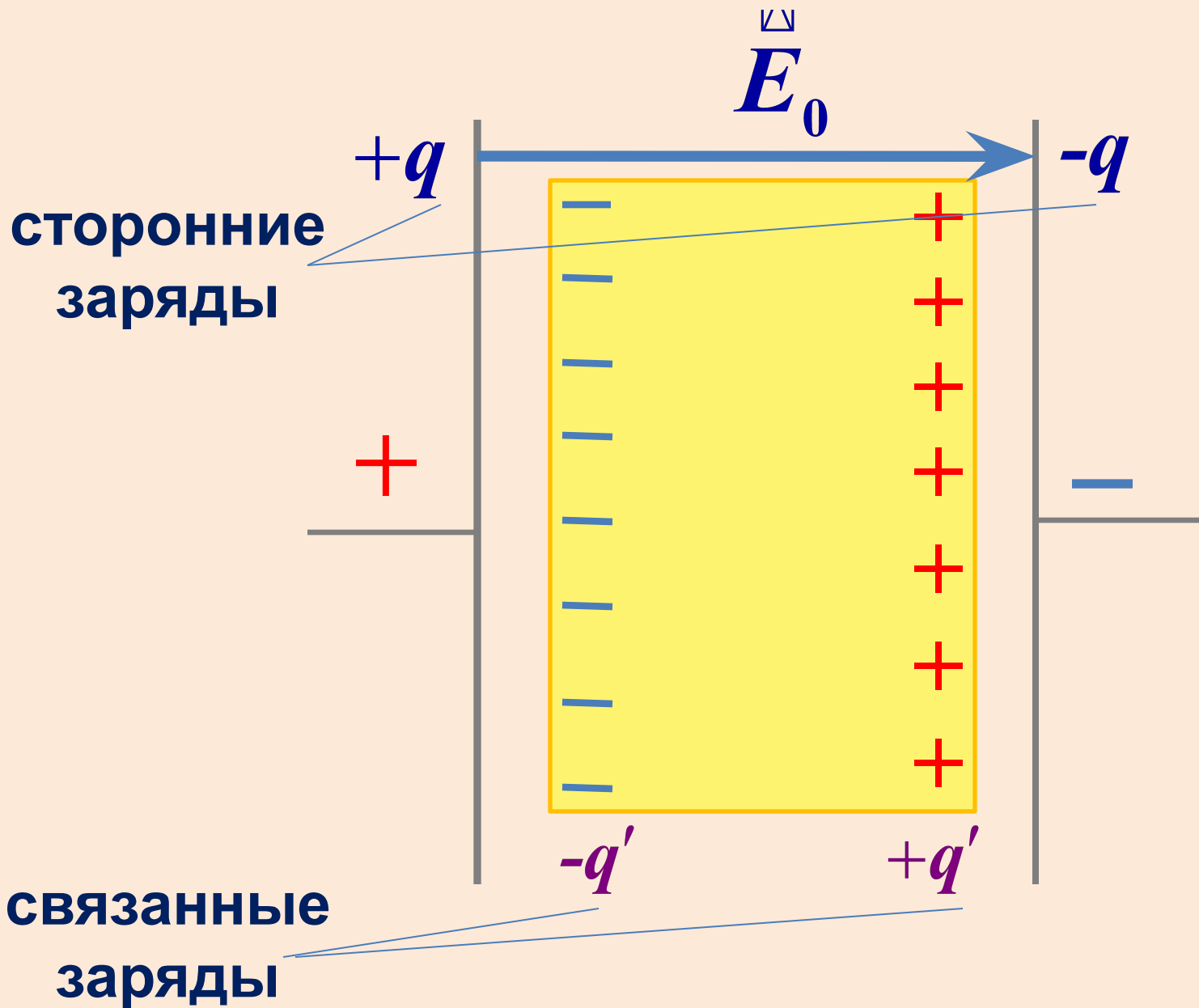
# **ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

**В диэлектриках нет свободных носителей заряда. Заряды, которые входят в состав молекул диэлектрика, могут перемещаться только на микроскопические**

**Назовем такие заряды**  
**связанными.** А  
**заряды, которые не**  
**входят в состав**  
**молекул диэлектрика,**  
**будем называть**  
**сторонними.**

**Когда диэлектрик помещают в поле, на его поверхности выступают связанные заряды.**

**Это явление называют поляризацией диэлектрика.**



$\vec{E}_0$  – напряженность поля сторонних зарядов

**Диэлектрик делается  
похож на большой  
диполь.**

**У него есть дипольный  
момент.**

**Есть случаи, когда  
связанный заряд не  
только находится на  
поверхности, но и  
распределен в объеме  
диэлектрика (например,  
если поле или диэлектрик  
неоднородны).**

# Как поляризуется диэлектрик?

Есть три основных  
механизма поляризации:

- электронный;
- дипольный;
- ионный.

# Электронная поляризация

Имеет место в диэлектриках с неполярными молекулами.

Это молекулы с симметричным строением.

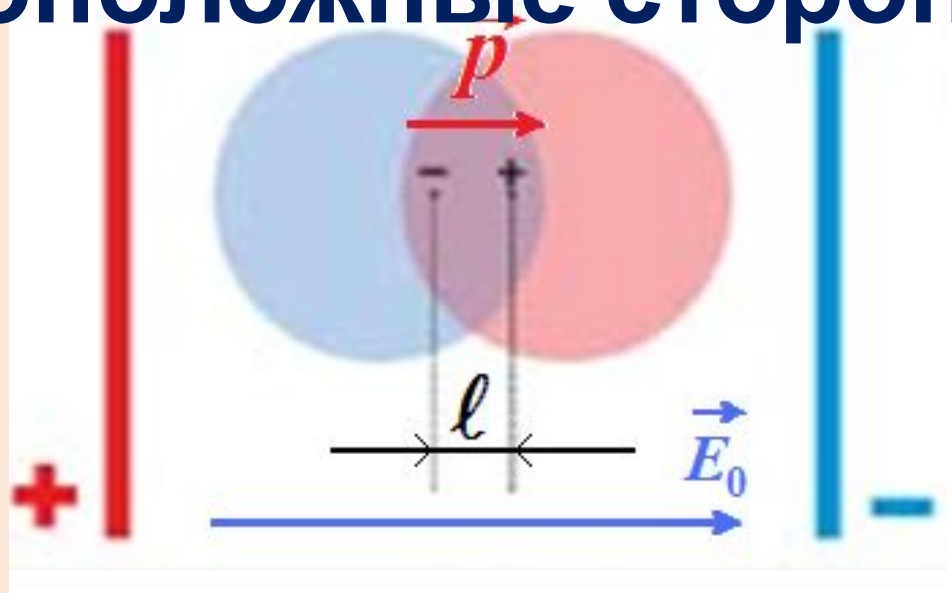


- молекула  
водорода

Центры тяжести  
положительного и  
отрицательного заряда



**В поле связанные заряды  
молекулы смещаются в  
противоположные стороны.**

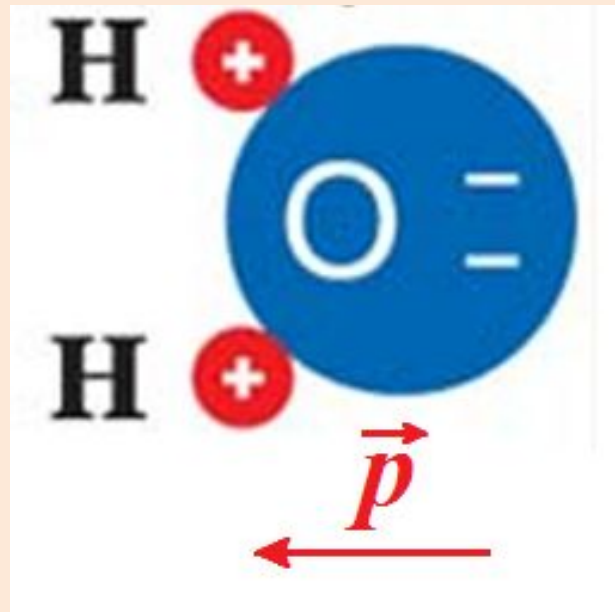


**Молекула  
приобретает  
дипольный момент.**

# Дипольная поляризация

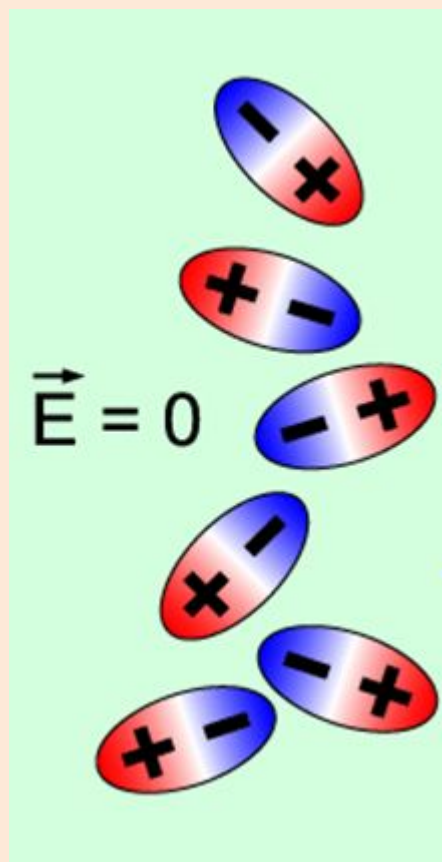
Имеет место в диэлектриках с полярными молекулами.

Такая молекула сразу представляет из себя диполь.

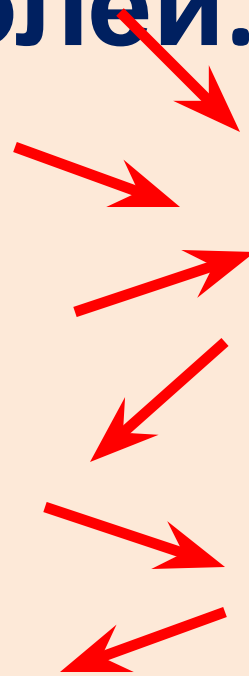


-  
молекула  
ВОДЫ

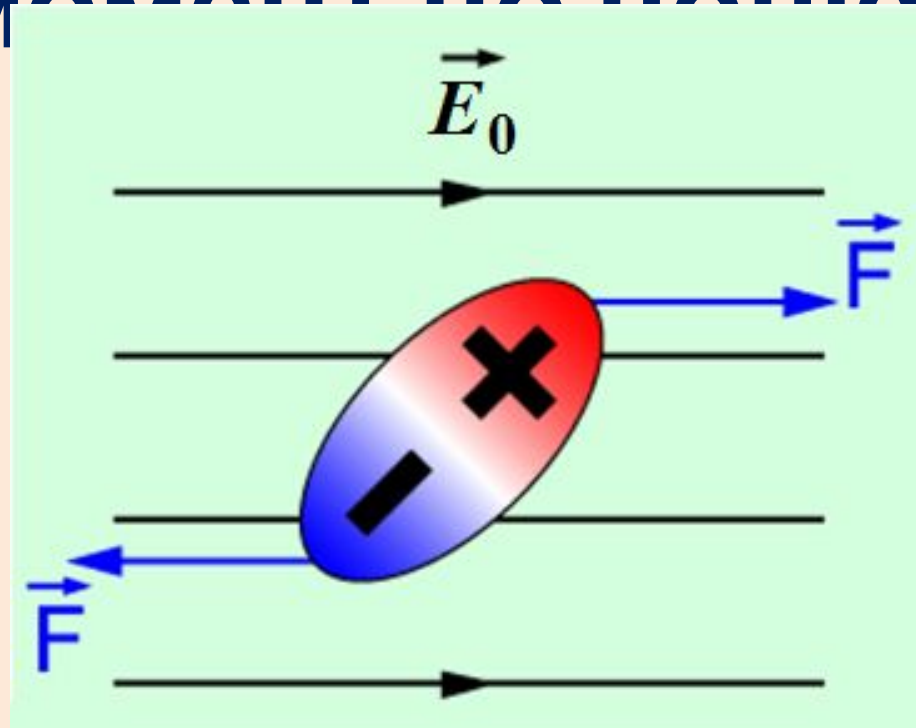
Пока нет поля, тепловое движение приводит к хаотической ориентации

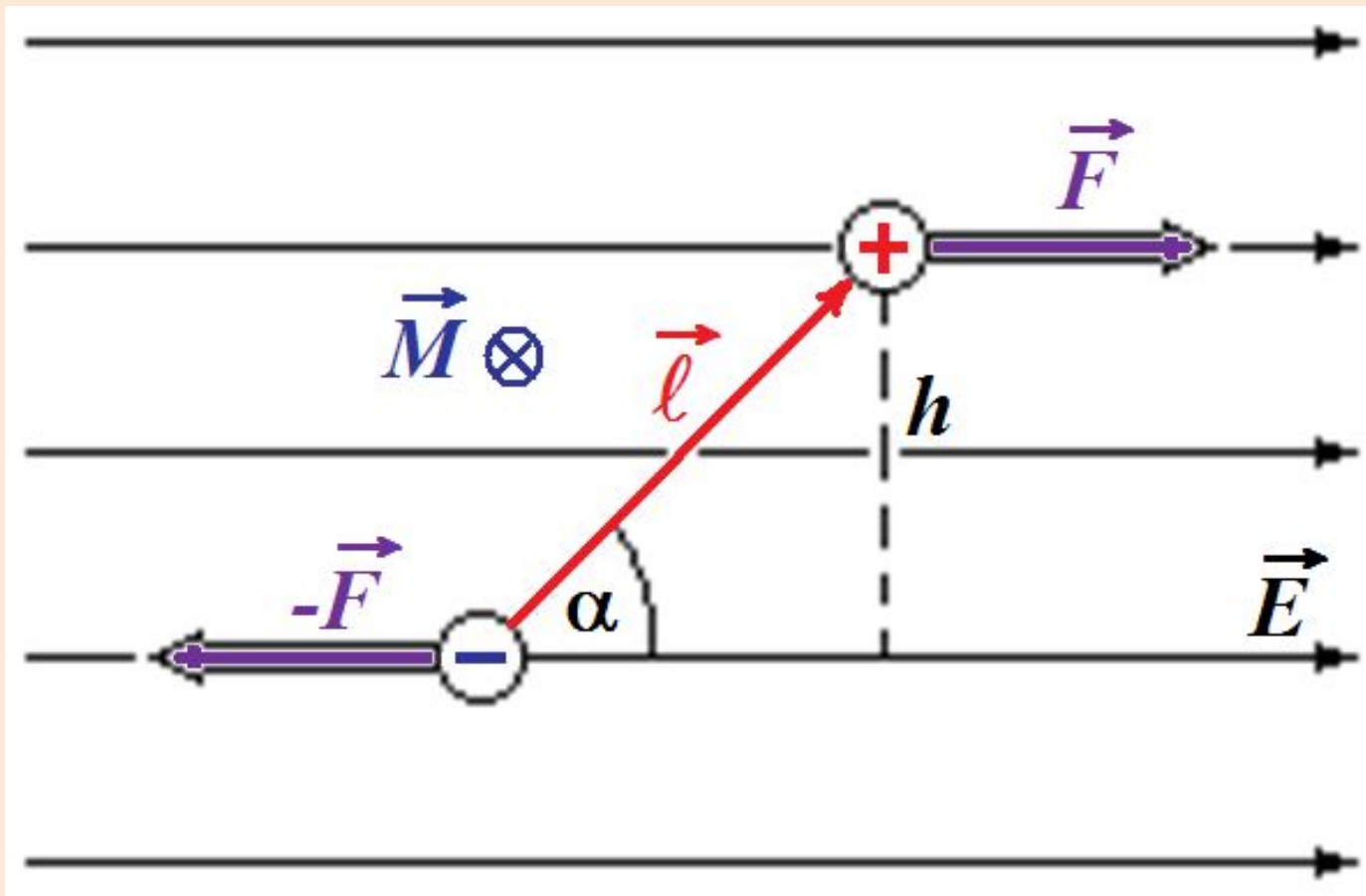


молекул.



В поле на диполь действует пара сил, которая ориентирует его дипольный момент по полю.





$$M = Fh$$

$$F = qE$$

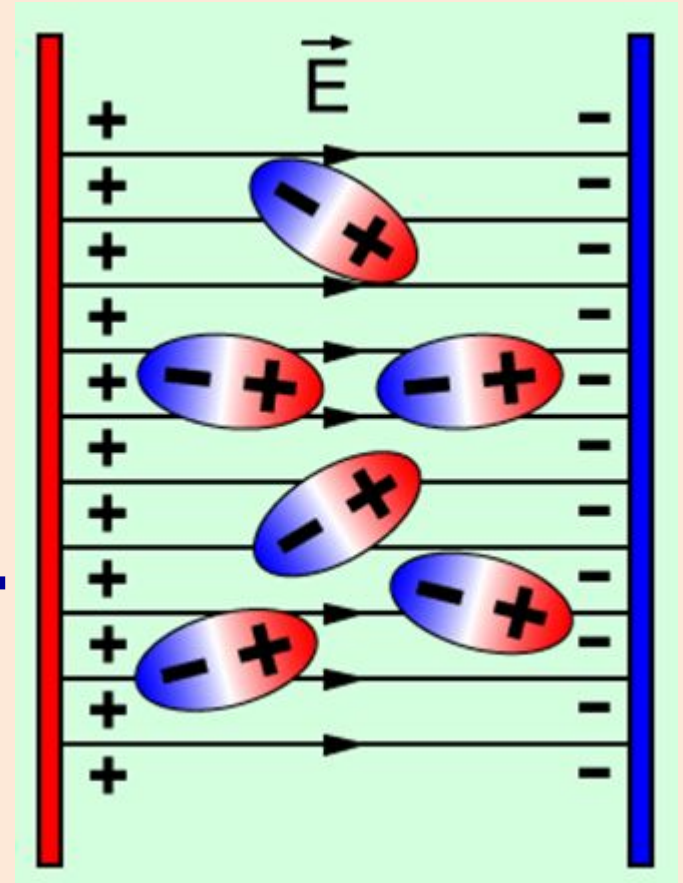
$$h = \ell \sin \alpha$$

$$M = q\ell E \sin \alpha$$

$$M = pE \sin \alpha$$

$$\vec{M} = \left[ \vec{p}, \vec{E} \right]$$

**Момент пары  
стремится  
повернуть диполь  
так, чтобы его  
дипольный момент  
установился по  
направлению поля.**

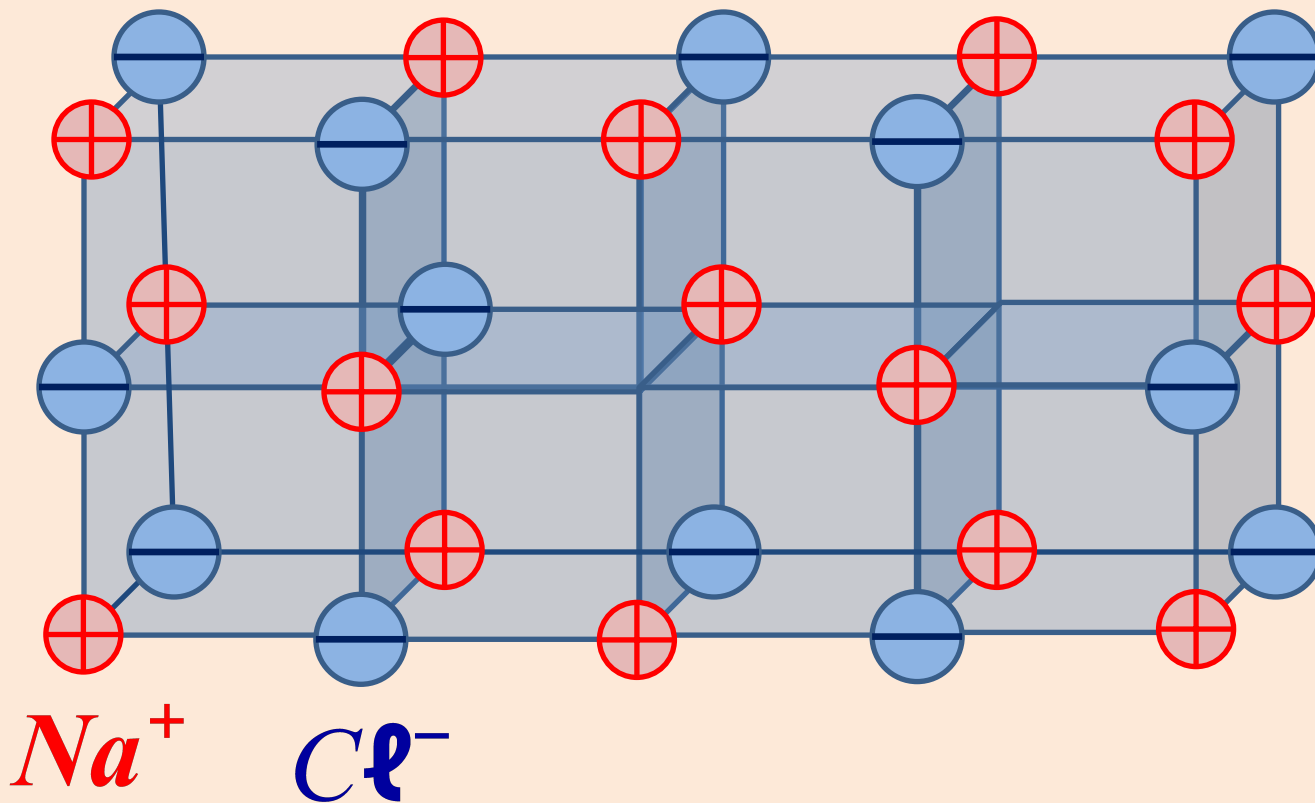


# Ионная

## поляризация

Происходит в ионных кристаллах, например,  $NaCl$ .

Кристаллическая решетка таких кристаллов образована чередующимися положительными и отрицательными ионами. Получается как бы две подрешетки



**Поле сдвигает подрешетки в  
противоположных  
направлениях, и кристалл**



# Вектор

## поляризации

Характеризует степень

поляризации диэлектрика.

Равен дипольному моменту

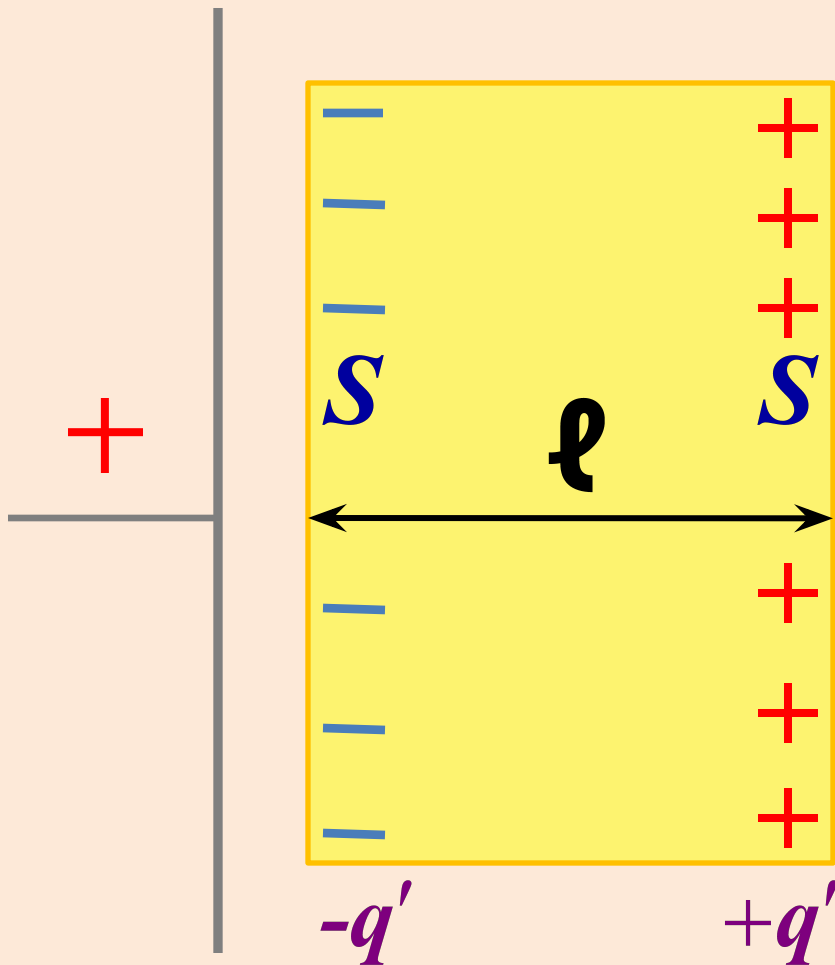
единицы объема

диэлектрика.

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

$$[P] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2}$$

**Как у поверхностной  
плотности зарядов.**



Дипольный момент  
“большого” диполя

равен

$$q' \ell = \sigma' S \ell = \sigma' V$$

$\sigma'$  - поверхностная плот-  
ность СВЯЗАННЫХ  
зарядов

Тогда

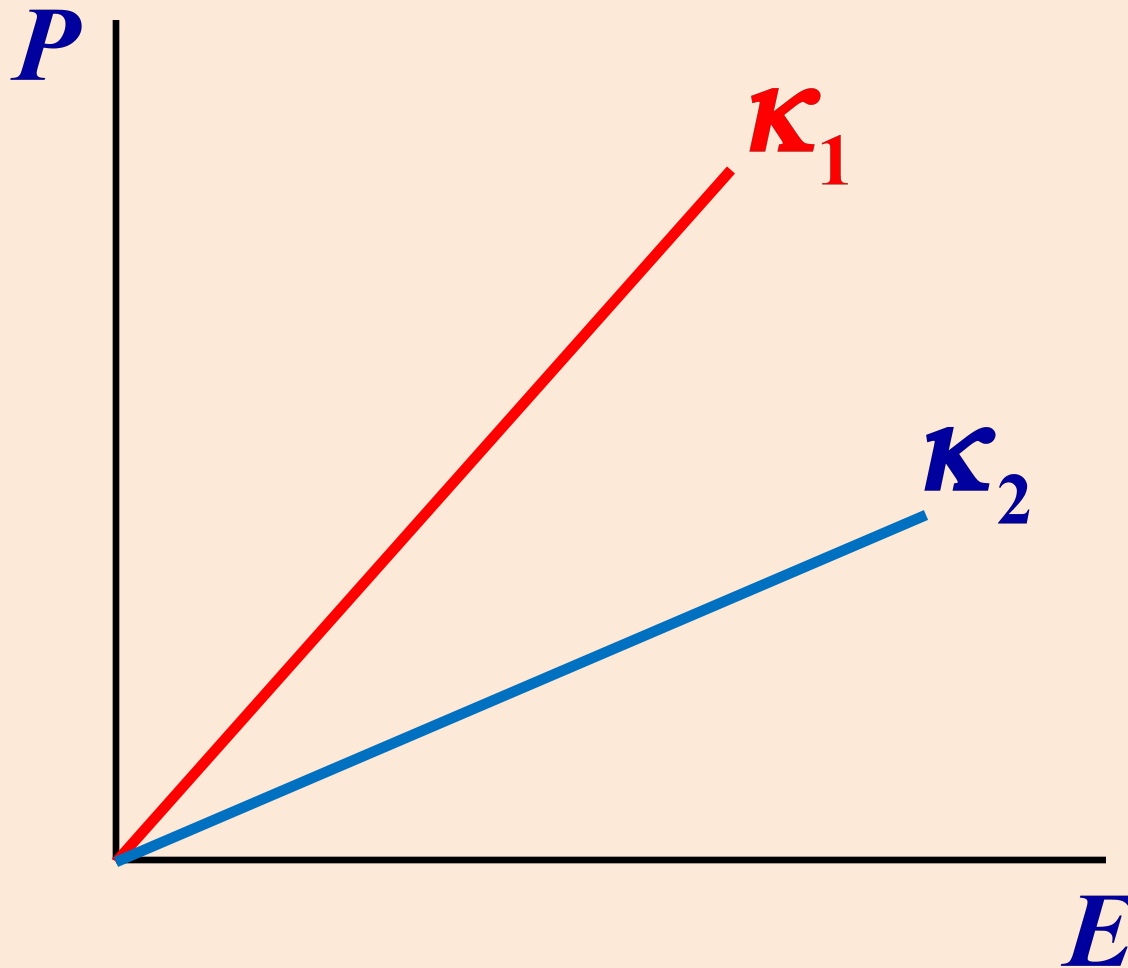
$$P = \frac{q' \ell}{V} = \sigma'$$

По модулю вектор поляризации равен  
плотности СВЯЗАННЫХ зарядов на  
поверхности диэлектрика

По величине вектор  
поляризации линейно зависит  
от напряженности поля в  
диэлектрике:

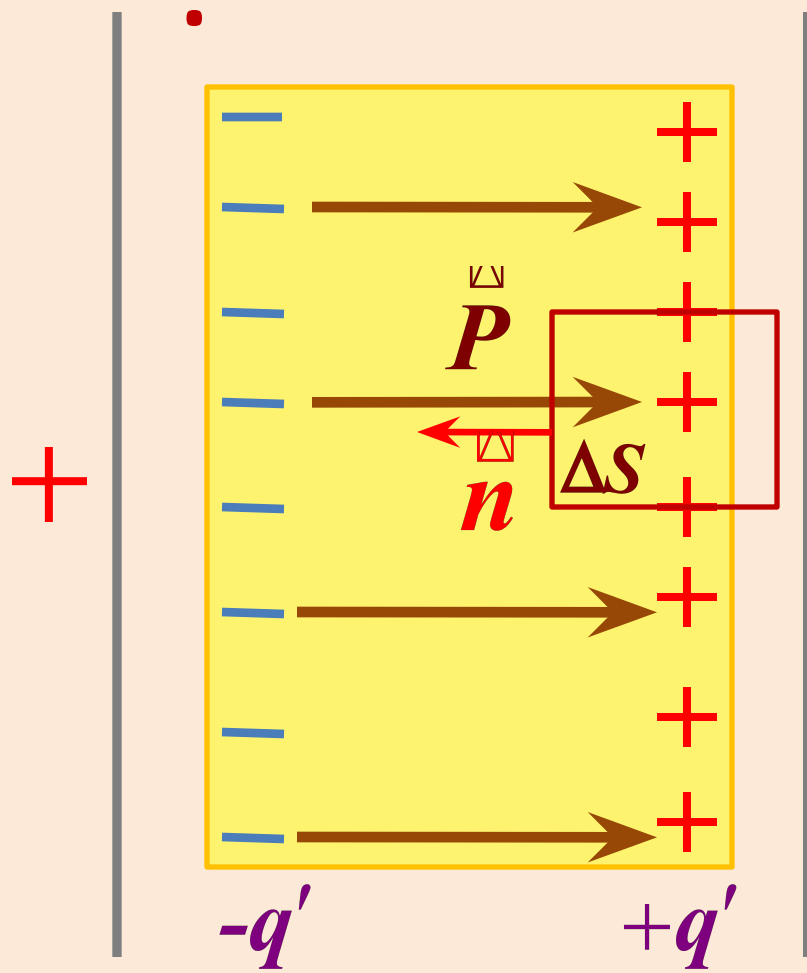
$$P = \varepsilon_0 K E$$

***K*** - диэлектрическая  
восприимчивость



**Восприимчивость показывает, как сильно диэлектрик поляризуется в электрическом поле.**

# Теорема Гаусса для вектора $\vec{P}$



Линии вектора  $\vec{P}$  идут внутри диэлектрика. Они начинаются на отрицательных связанных зарядах и заканчиваются на положительных.

Возьмем замкнутую поверхность в виде цилиндрика и утопим в диэлектрик.

$$P = \sigma'$$

$$P \cdot \Delta S = \sigma' \cdot \Delta S$$

$$P \cdot \Delta S = \sigma' \cdot \Delta S$$



модуль потока



заряд внутри  
цилиндрика

**Поток  $\Phi_P$  отрицателен,  
т.к. линии входят  
внутрь поверхности.**

**Теорема Гаусса: поток вектора поляризации сквозь замкнутую поверхность равен связанному заряду внутри этой поверхности, взятому с обратным знаком.**

$$\oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S} = -q'$$



**Чтобы получить эту теорему в локальной форме, надо поделить на объем и взять предел, устремив объем к нулю.**

$$\lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S}}{\Delta V} = - \frac{dq'}{dV}$$



**дивергенция**

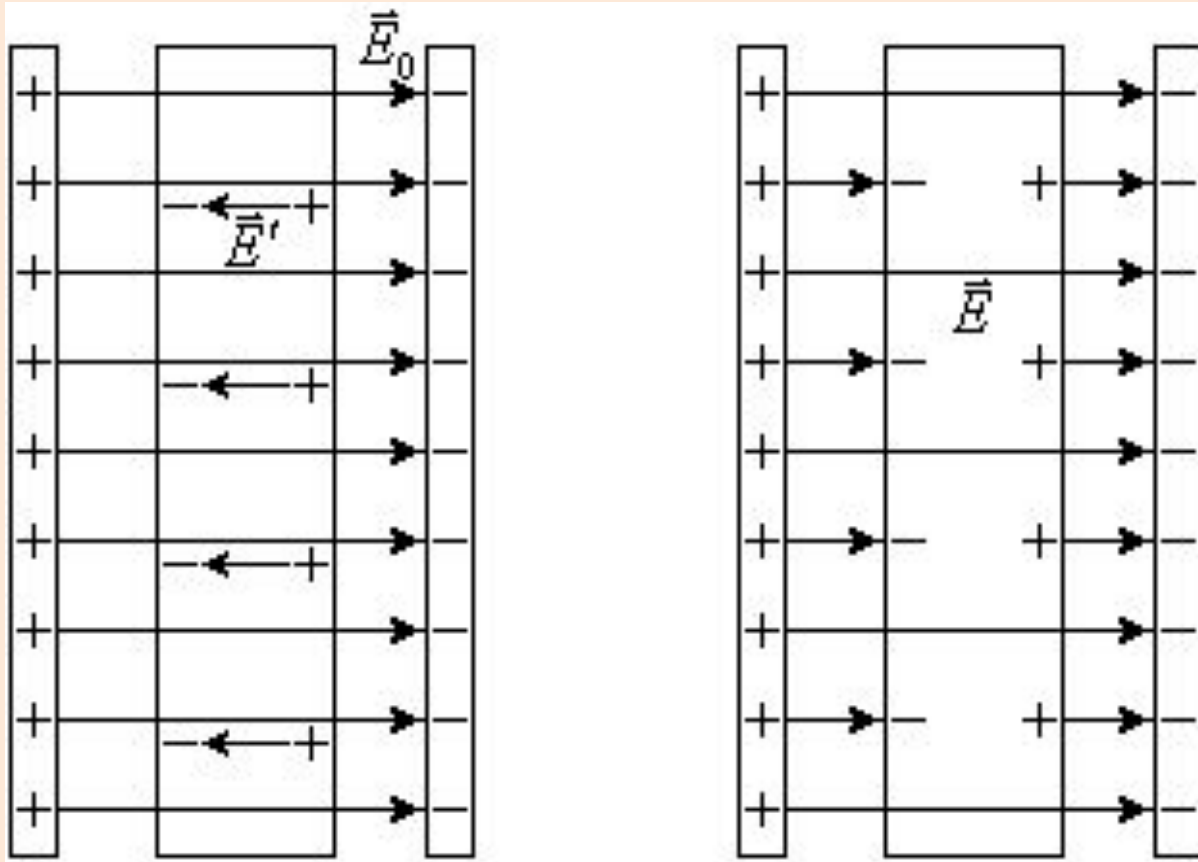


**объемная  
плотность  
заряда**

$$\operatorname{div} \vec{P} = -\rho'$$

**Дивергенция вектора поляризации равна объемной плотности связанного заряда в данной точке, взятой с обратным знаком.**

# Электростатическое поле в диэлектрике



$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'; \quad E = E_0 - E'; \quad E < E_0.$$

**Поле снаружи  
диэлектрика не меняется.**

**Поле внутри диэлектрика  
слабее, чем снаружи.**

**Причина – наложение  
поля связанных зарядов.**

$$E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0}; \quad E = E_0 - \frac{\sigma'}{\epsilon_0}; \quad \sigma' = P;$$

$$E = E_0 - \frac{P}{\epsilon_0}; \quad E = E_0 - \frac{\kappa \epsilon_0 E}{\epsilon_0}; \quad E = E_0 - \hat{\epsilon} E;$$

$$E = \frac{E_0}{1 + \hat{\epsilon}};$$

$$E = \frac{E_0}{\epsilon}$$

**Величину  $\varepsilon = 1 + k$  называют  
относительной  
диэлектрической  
проницаемостью среды.**

**Поле в  
диэлектрике  
ослабевает в  $\varepsilon$   
раз.**