

# Электрическое поле

Основной закон электростатики — **закон Кулона** — позволяет вычислить силу взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме.

- В любой другой среде сила взаимодействия заряженных тел неизбежно уменьшается, так как проявляется эффект поляризации. В однородной изотопной среде уменьшение силы пропорционально определённой величине, характерной для данной среды. Эту величину называют диэлектрической постоянной. Другое название — диэлектрическая проницаемость. Обозначают её символом  $\epsilon$  (табл.).

- Учитывая данный параметр, коэффициент пропорциональности принимает вид

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}$$

- И закон Кулона можно записать следующим образом:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- Диэлектрическая постоянная воздуха очень близка к 1. Поэтому закон Кулона в воздушном пространстве проявляется так же как в вакууме.

Данный закон, однако, ничего не говорит нам о том, каким образом осуществляется это взаимодействие.

Опыт показывает, что электрические заряды действуют друг на друга даже в отсутствие между ними вещества, то есть в вакууме.

Долгое время в науке преобладала теория *дальнодействия*.

# Близкодействие и действие на расстоянии

- **Дальнодействие:** действие осуществляется без участия какого бы то ни было посредника и мгновенно передается от одного тела к другому.
- **Близкодействие:** всякое действие от одного тела к другому передается с конечной скоростью от точки к точке через среду, которую мы не наблюдаем.

# Теория близкодействия (М.Фарадей, 1791 – 1867)

Неподвижный заряд  $q_1$

Создает

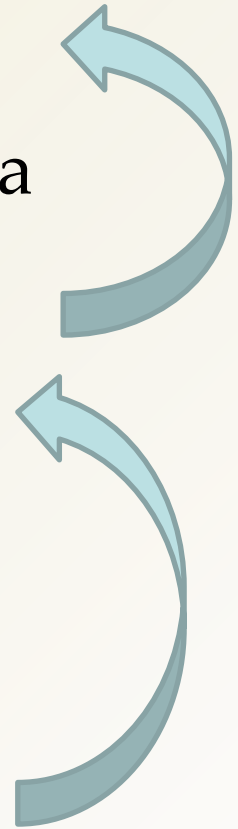
Действует на

**Электрическое поле**

Действует на

Создает

Другой заряд  $q_2$



# Электрическое поле



Близодействие

$$t = \frac{r}{c}$$

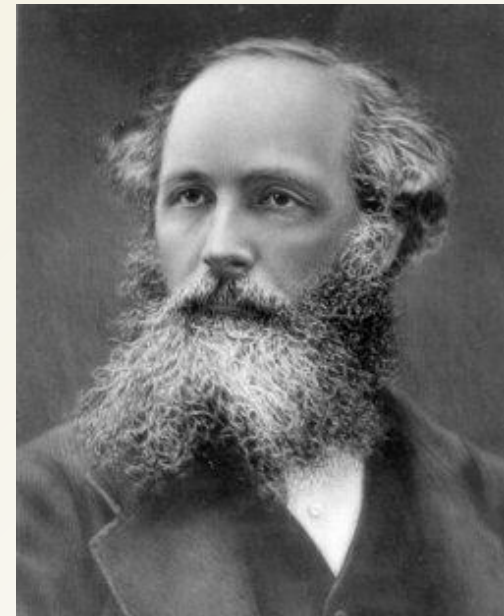
$t$  – время передачи  
электромагнитных  
взаимодействий

$r$  – расстояние между зарядами

$c$  – скорость распространения  
электромагнитных  
взаимодействий ( 300 000 км/с)

Идея: М. Фарадей (англ.)

Теория: Дж. Максвелл  
(англ.)



# Электрическое поле

- *Электрическое поле* – это вид материи, окружающей электрические заряды, и проявляющейся в действии на эти заряды.
- Поле, созданное *покоящимися* электрическими зарядами называется *электростатическим*.

# Свойства электрического поля:

- порождается электрическими зарядами;
- обнаруживается по действию на заряд;
- действует на заряды с некоторой силой.

Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого *пробного заряда* – небольшого по величине точечного заряда, который не производит заметного перераспределения исследуемых зарядов.



# Напряженность электрического поля

Для количественного определения электрического поля вводится **силовая** характеристика *напряженность электрического поля*.

- **Напряженностью электрического поля** в данной точке называют физическую величину, равную отношению силы, действующей со стороны поля на точечный пробный заряд, помещенный в данную точку поля к величине этого заряда.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad [E] = [ \text{Н/Кл} ] = [ \text{В/м} ]$$

# Направление напряженности электрического поля

- Сила, действующая на любой заряд, помещенный в данную точку электрического поля:

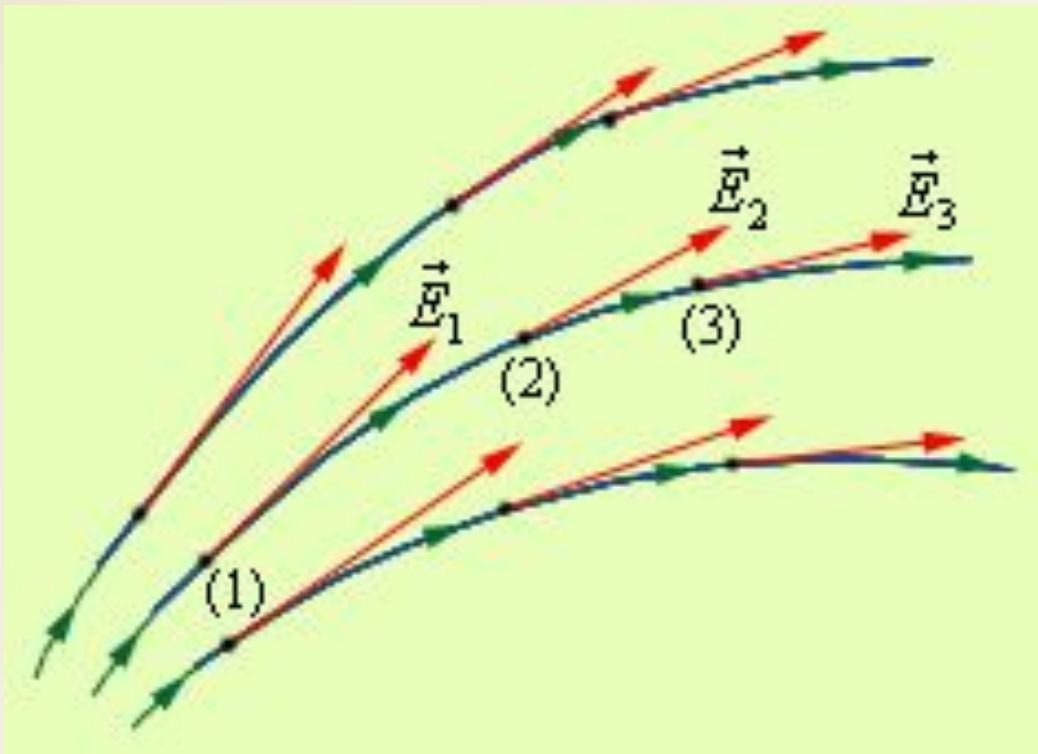
$$\vec{F} = q \vec{E}$$

- Направление вектора напряженности совпадает с направлением силы, действующей в этой точке поля на положительный заряд.

- $\vec{E} \uparrow \uparrow \vec{F} .$

# Силловые линии

- Для наглядного изображения электрического поля используют *силловые линии*.
- Воображаемые линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением напряженности электрического поля, называются *силловыми линиями* или *линиями напряженности* электрического поля.



При изображении электрического поля с помощью силовых линий, их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля.

$$E_1 > E_2 > E_3$$

# Принцип суперпозиции полей

• Поместим в точку М пробный заряд  $q$ .

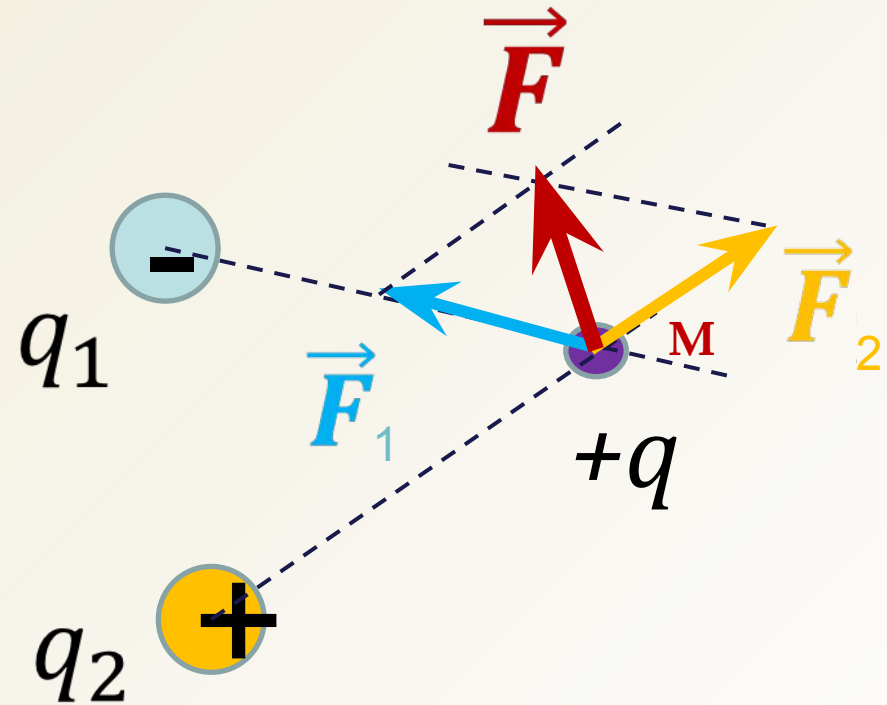
Тогда со стороны заряда  $q_1$  на него будет действовать сила  $\vec{F}_1$ , а со стороны заряда  $q_2$  — сила  $\vec{F}_2$ .

Согласно принципу суперпозиции на заряд  $q$  действует результирующая сила

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$\frac{\vec{F}}{q} = \frac{\vec{F}_1}{q} + \frac{\vec{F}_2}{q}$$

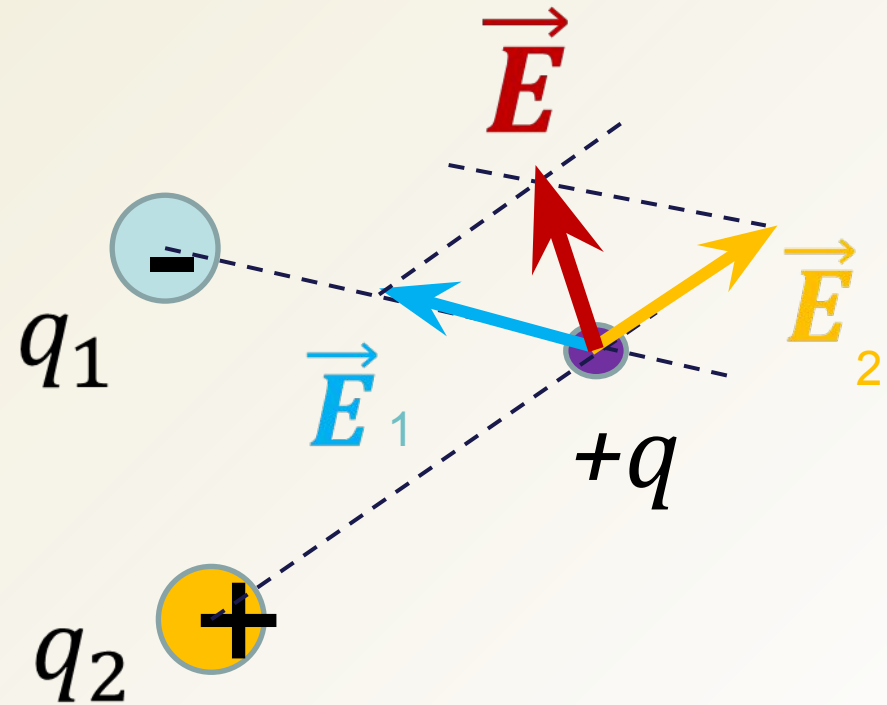
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$



# Принцип суперпозиции полей

**Напряженность** поля, созданного несколькими зарядами, равна векторной сумме напряженностей полей, созданных каждым из зарядов:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$



# Свойства силовых линий электрического поля

- Густота линий пропорциональна модулю напряженности.
- Силовые линии непрерывны.
- Начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных зарядах.
- Силовые линии не пересекаются.

# Напряженность поля точечного заряда:

*Напряженность* – силовая характеристика электрического поля.

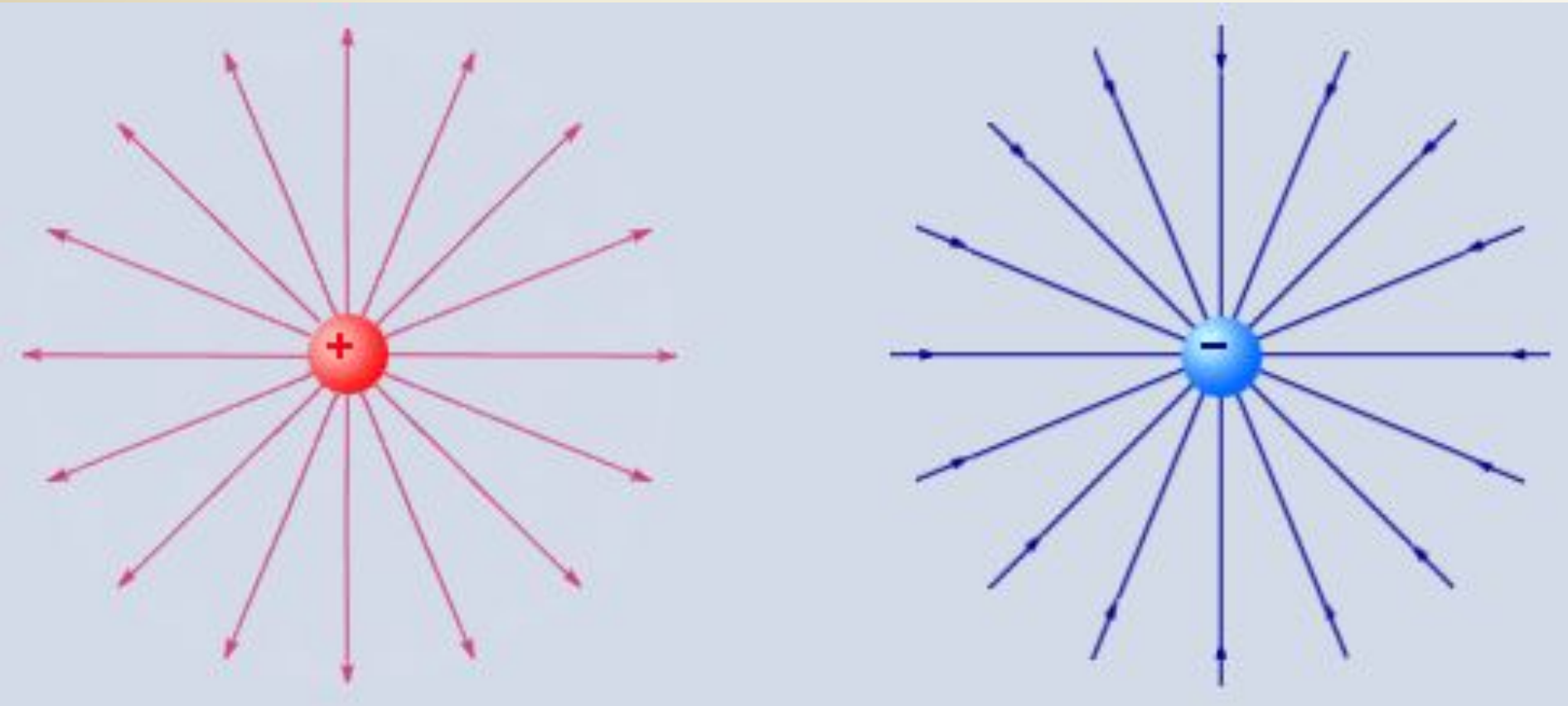
$$F = \frac{1}{4 \pi \varepsilon \varepsilon_0} \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

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

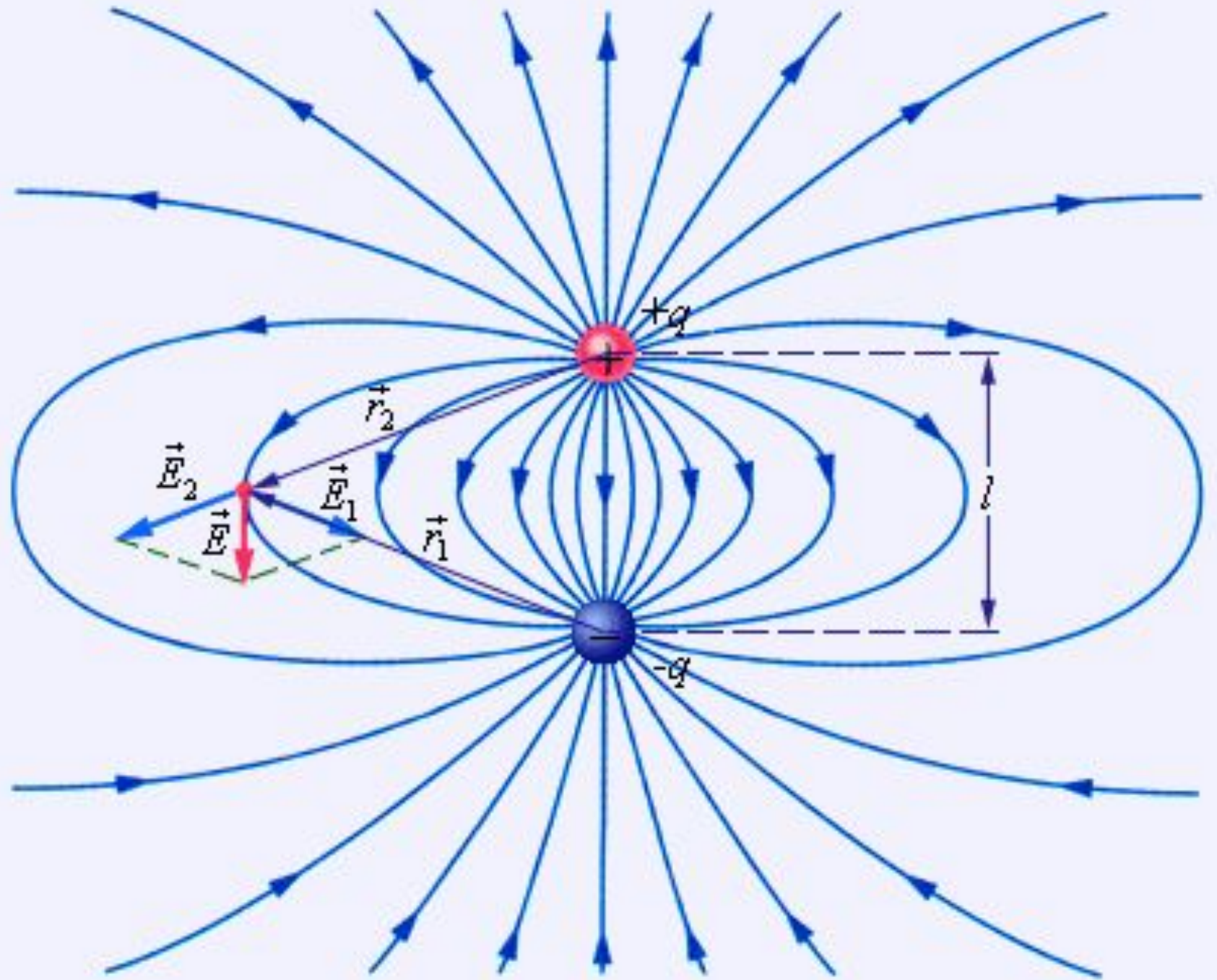
$$E = \frac{1}{4 \pi \varepsilon \varepsilon_0} \frac{|q_0|}{r^2}$$

$q_0$  - точечный заряд

# Напряженность поля точечного заряда:







# Поле равномерно заряженной плоскости

Заряженная плоскость характеризуется величиной поверхностной плотности заряда.

Возьмём небольшой участок плоскости площадью  $S$ .

Пусть заряд этого участка равен  $q$ .

Тогда поверхностная плотность заряда определяется как отношение заряда к площади:

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

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

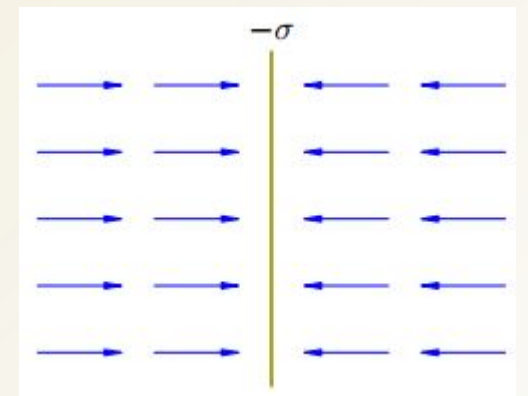
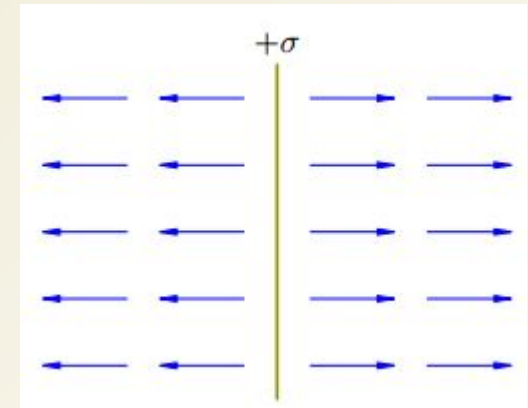
*Поверхностная плотность заряда — это заряд единицы площади.*

Поверхностная плотность заряда может меняться от участка к участку.

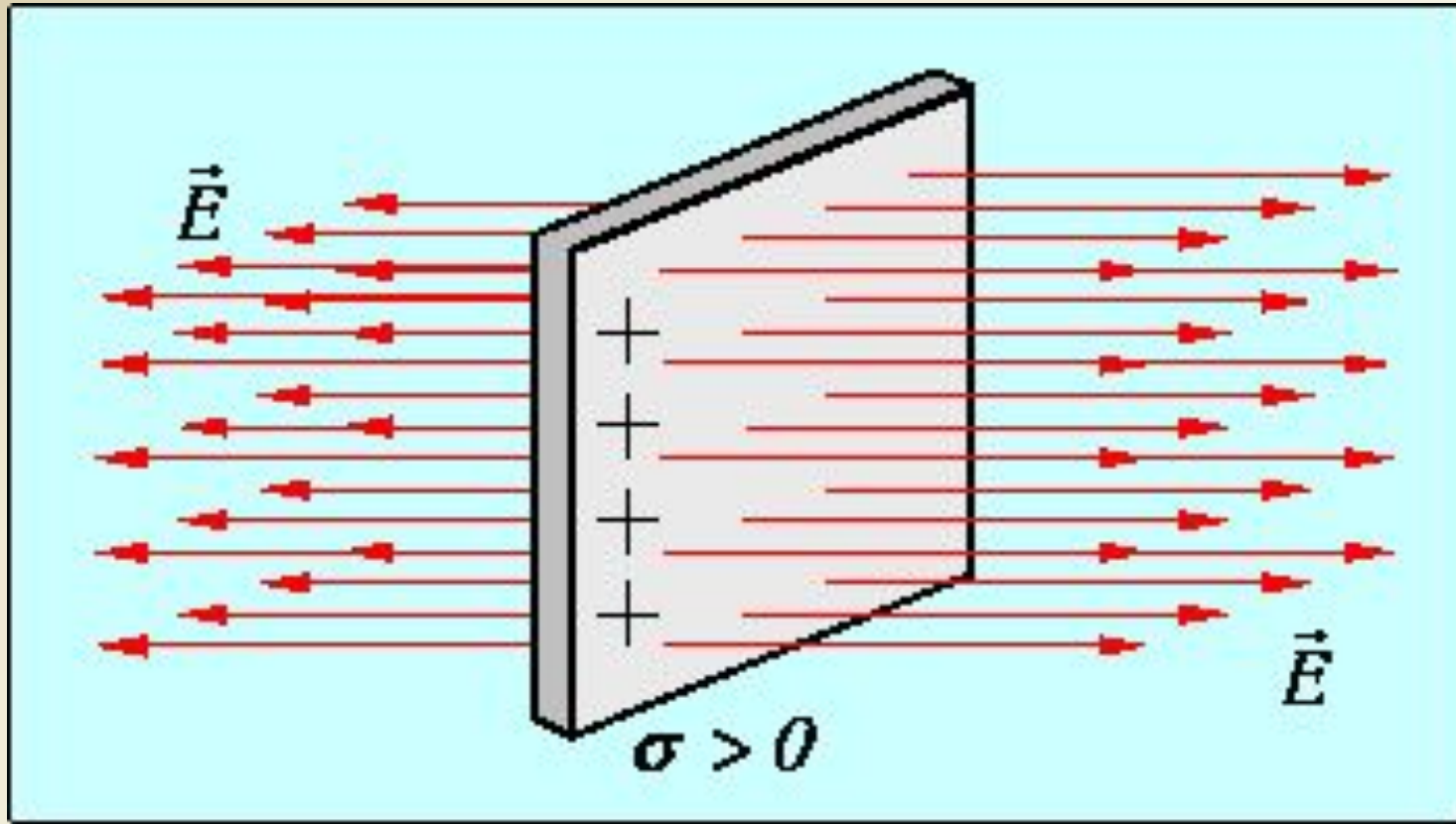
Но если на любом участке плоскости поверхностная плотность заряда одинакова ( $\sigma = \text{const}$ , т. е. заряд распределён равномерно), то **плоскость называется равномерно заряженной**.

Вектор напряжённости поля равномерно заряженной плоскости перпендикулярен плоскости;

он направлен от плоскости, если плоскость заряжена положительно, и к плоскости, если плоскость заряжена отрицательно



# Однородное электрическое поле



*Электрическое поле, в котором напряженность одинакова по модулю и направлению в любой точке пространства, называется **однородным** электрическим полем.*

# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

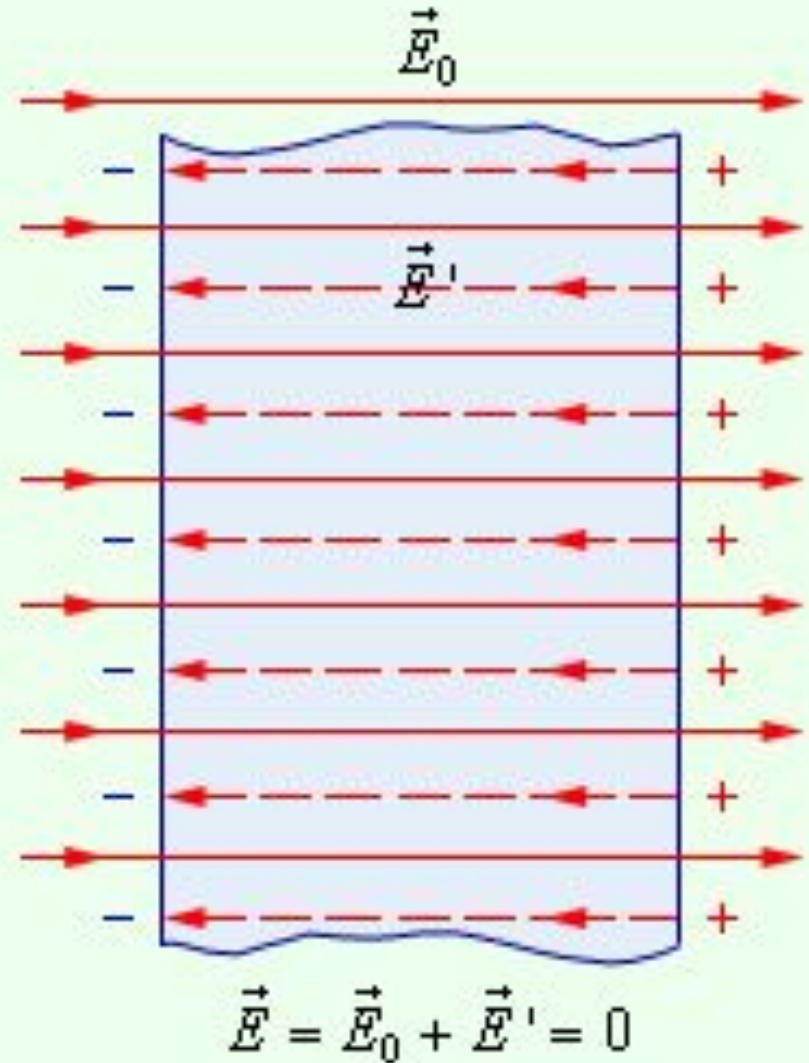
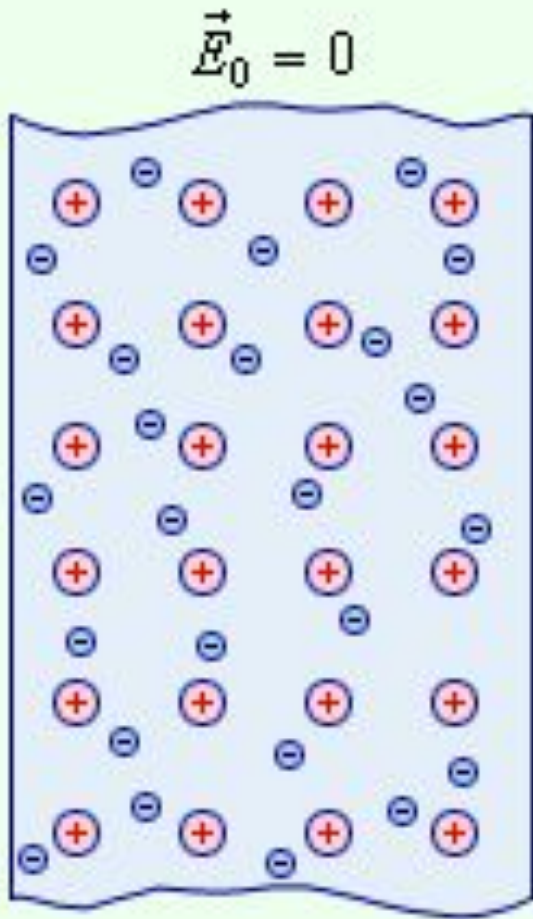
Вещество, внесенное в электрическое поле, может существенно изменить его, т.к. оно состоит из заряженных частиц.

Полное электрическое поле складывается в соответствии с принципом суперпозиции из внешнего поля и внутреннего поля создаваемого заряженными частицами вещества.

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

Вещество многообразно по своим электрическим свойствам. Наиболее широкие классы вещества составляют *проводники и диэлектрики.*

# Проводники и диэлектрики в электрическом поле



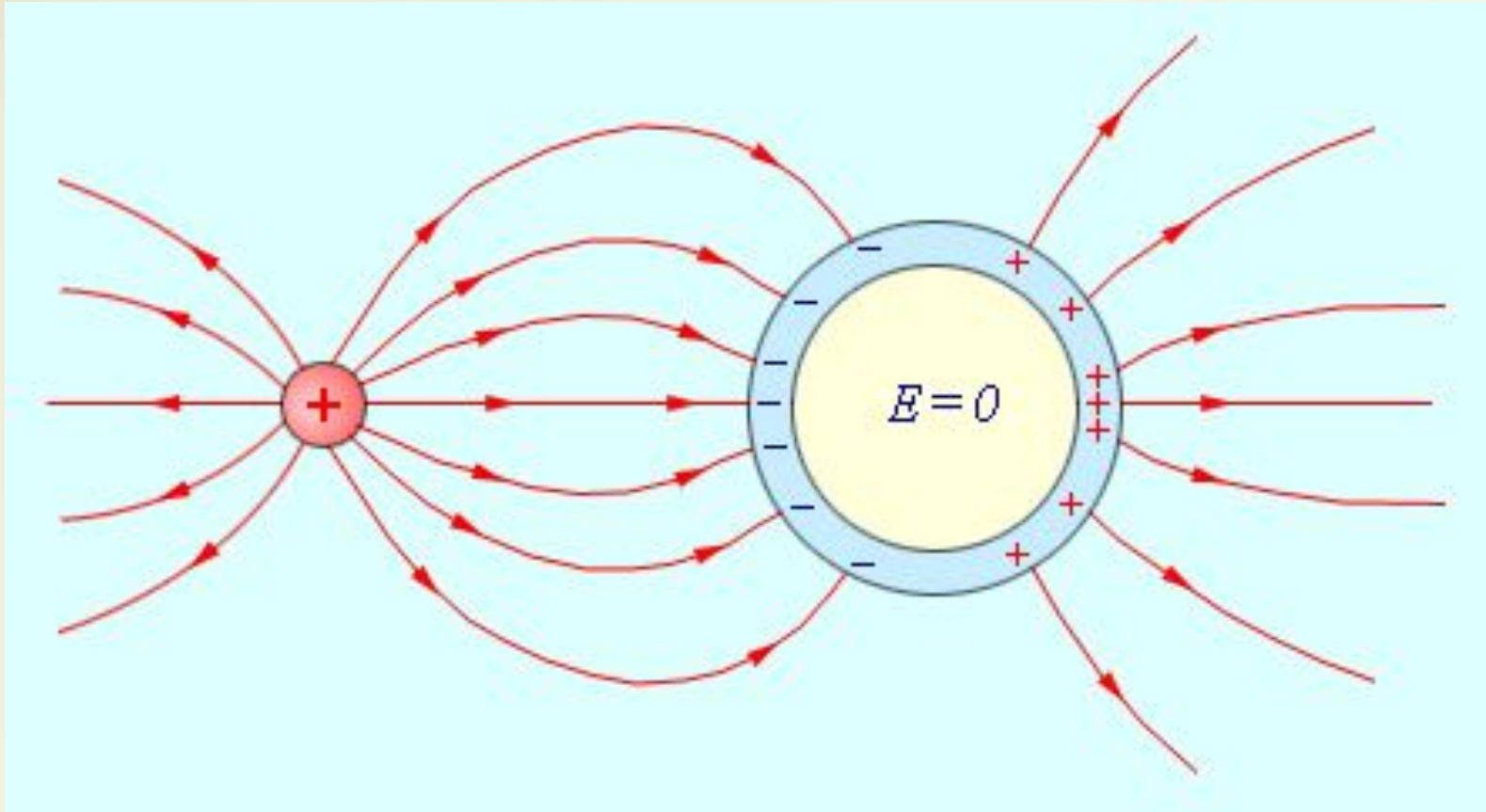
Полное электростатическое поле внутри проводника равно нулю.

# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Все внутренние области проводника, внесенного в электрическое поле, остаются электронейтральными.

Если удалить некоторый объем, выделенный внутри проводника, и образовать пустую полость, то электрическое поле внутри полости будет равно нулю.

На этом основана **электростатическая защита**.



# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

В отличие от проводников, в диэлектриках (изоляторах) нет свободных электрических зарядов.

Заряженные частицы в нейтральном атоме связаны друг с другом и не могут перемещаться под действием электрического поля по всему объему диэлектрика.

При внесении диэлектрика во внешнее электрическое поле в нем возникает переориентация **связанных** зарядов.

Связанные заряды создают электрическое поле, которое внутри диэлектрика направлено противоположно вектору напряженности внешнего поля.

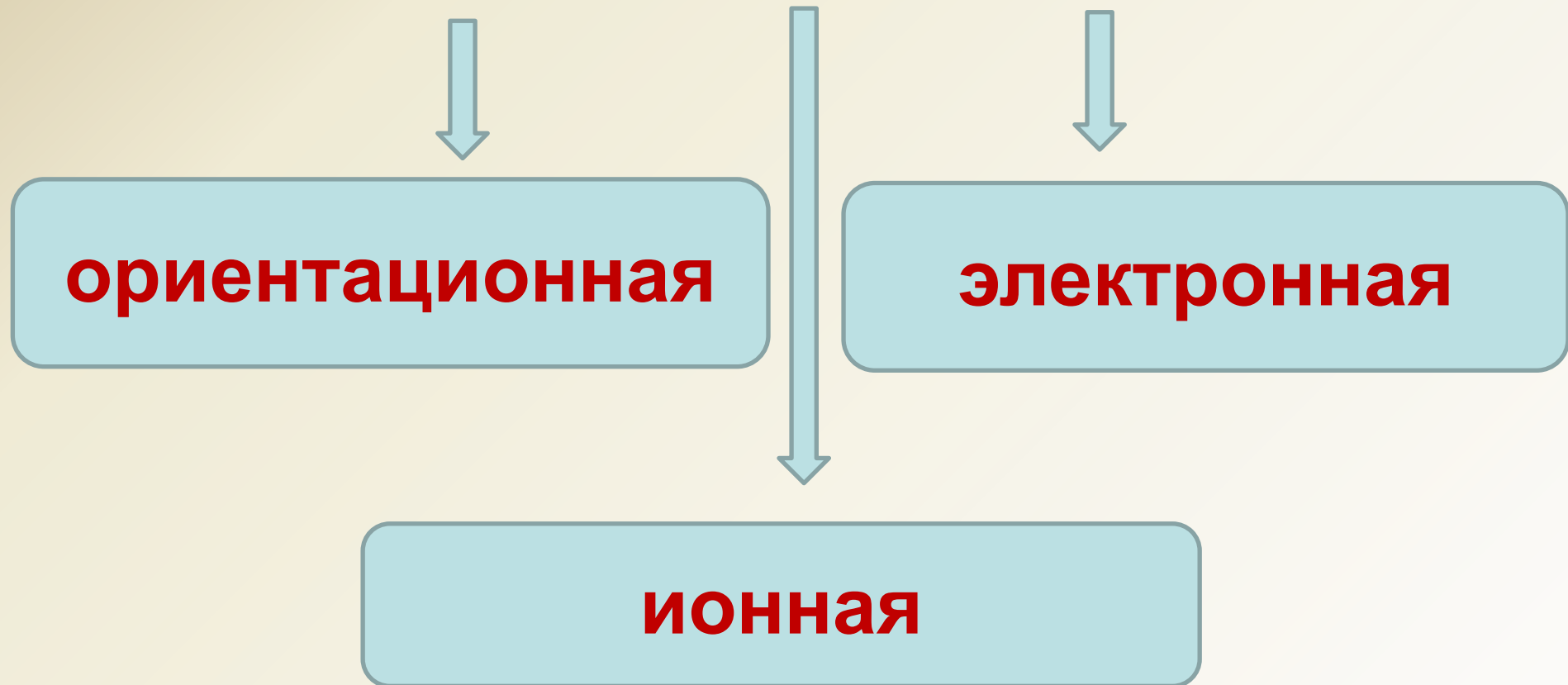
Этот процесс называется **поляризацией диэлектрика**.

*Физическая величина, равная отношению модуля напряженности внешнего электрического поля в вакууме к модулю напряженности полного поля в однородном диэлектрике, называется диэлектрической проницаемостью вещества.*

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

# Проводники и диэлектрики в электрическом поле

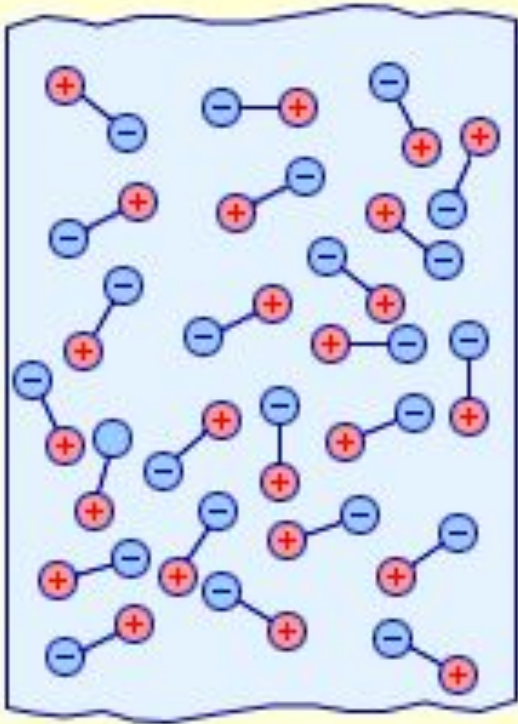
## Виды поляризации



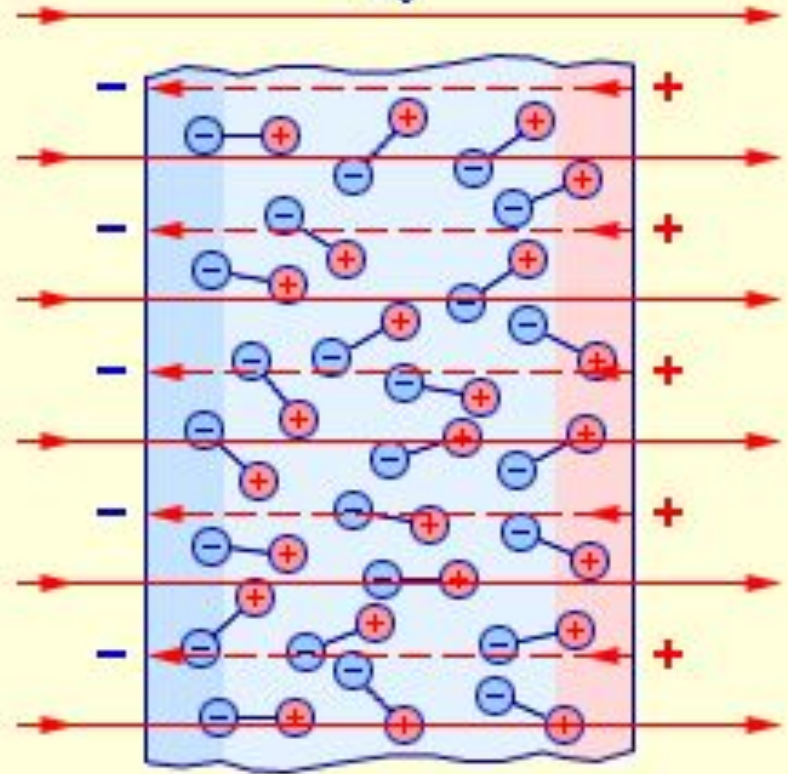


# Ориентационная поляризация полярного диэлектрика

$$\vec{E}_0 = 0$$



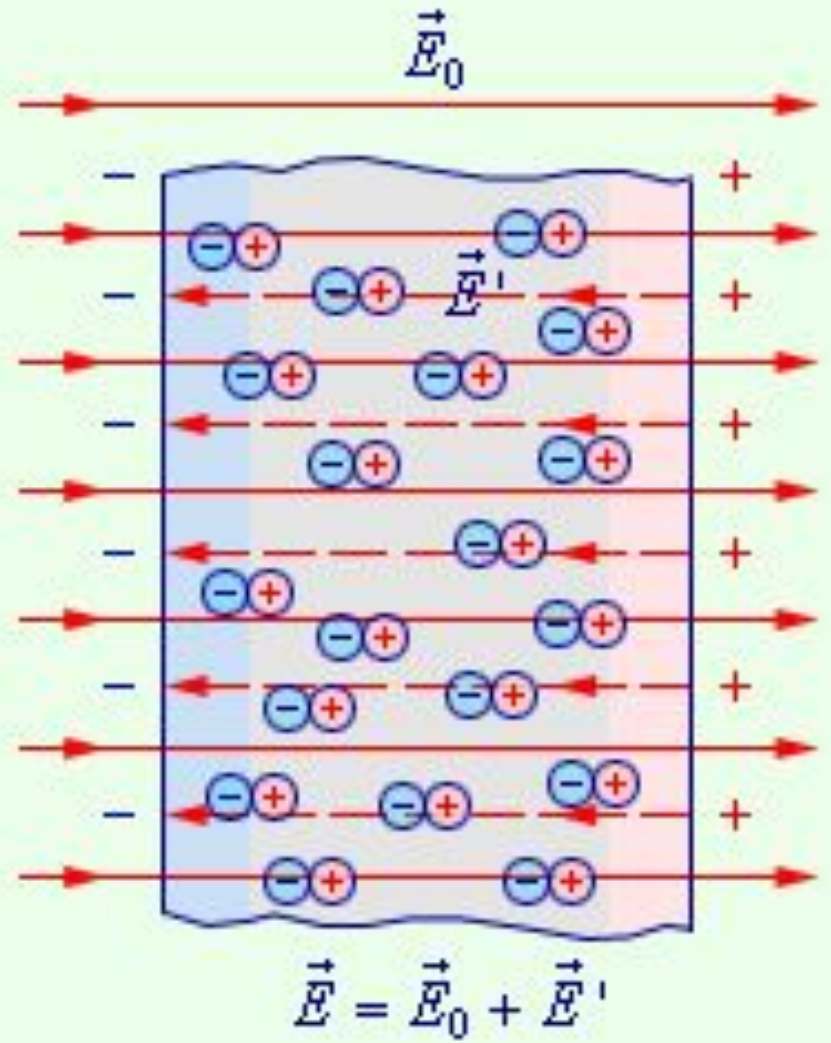
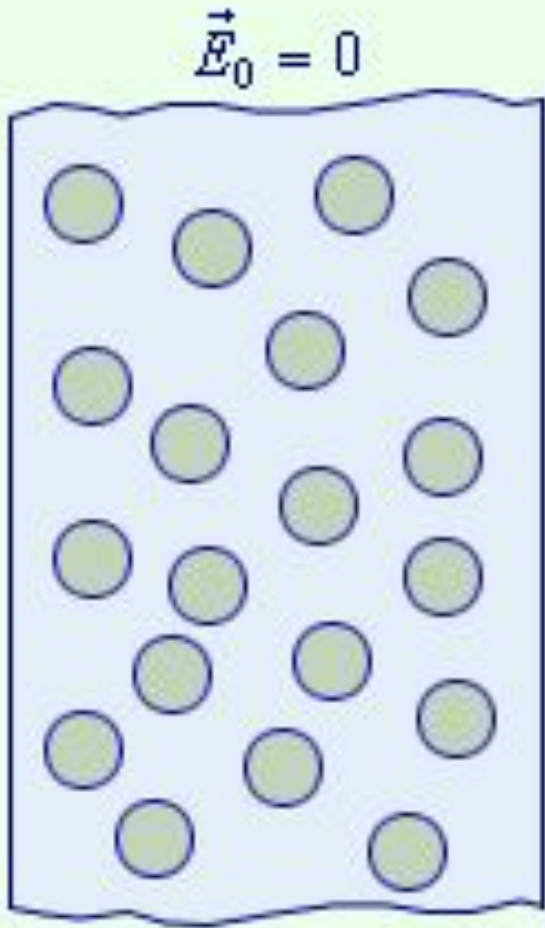
$$\vec{E}_0$$



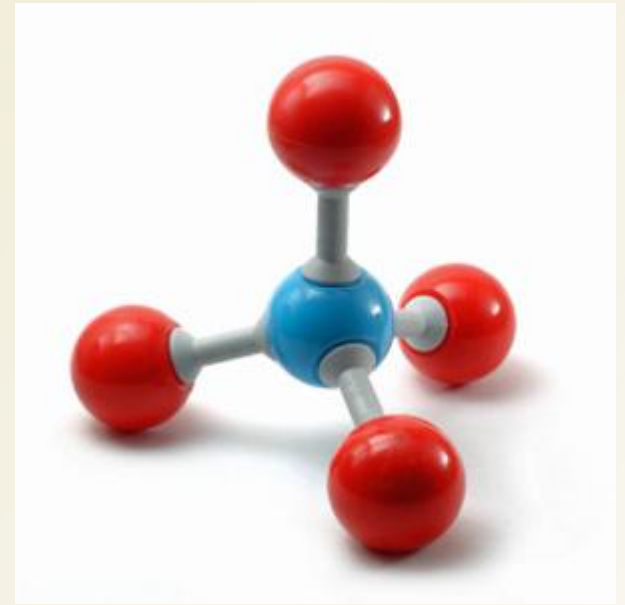
$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

Поляризация полярных диэлектриков сильно зависит от температуры, так как тепловое движение молекул играет роль дезориентирующего фактора.

# Ориентационная поляризация неполярного диэлектрика



Деформация неполярных молекул под действием внешнего электрического поля не зависит от их теплового движения, поэтому поляризация неполярного диэлектрика не зависит от температуры.

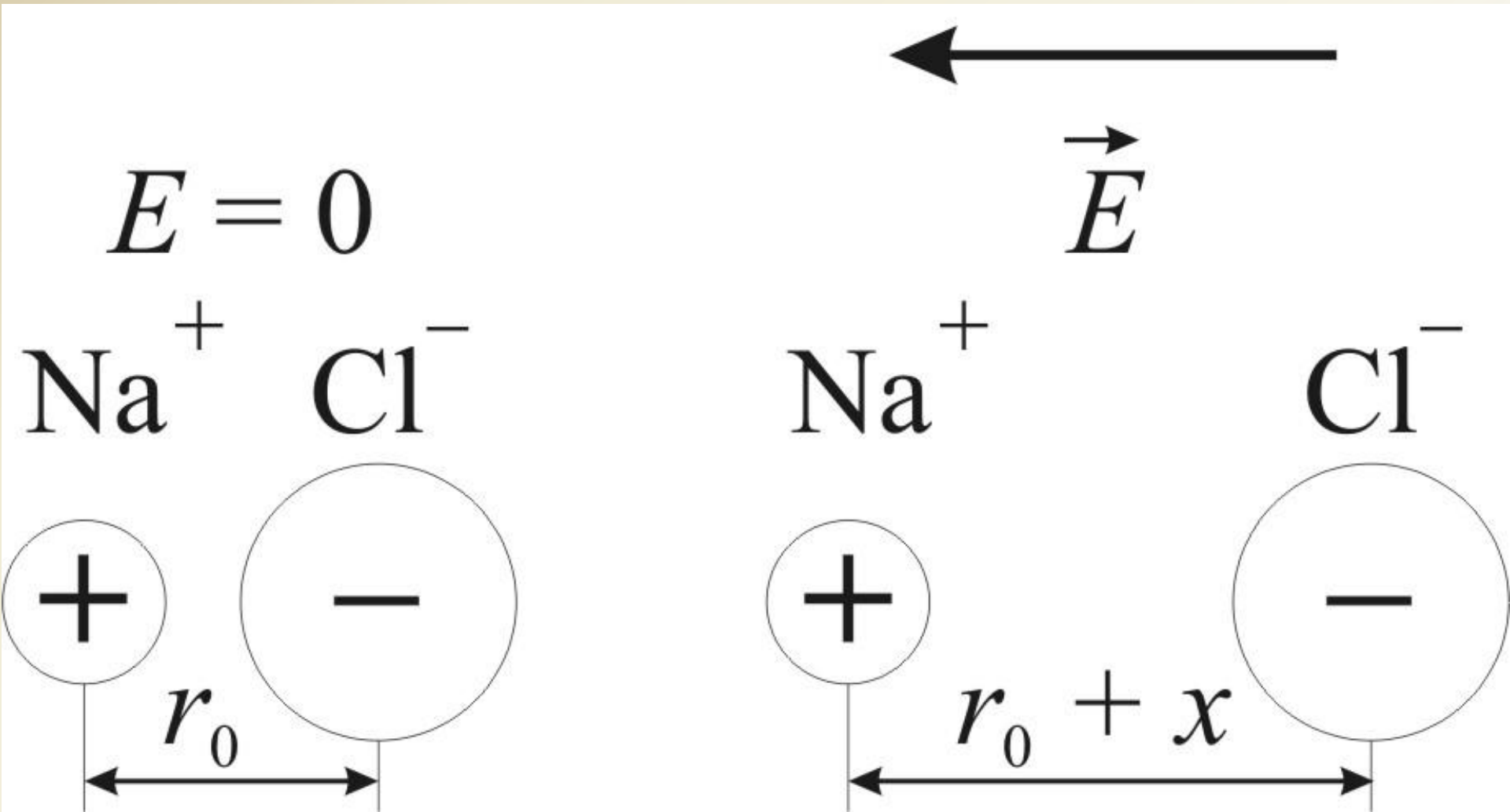


Примером неполярной молекулы может служить молекула метана  $\text{CH}_4$ .

У этой молекулы четырехкратно ионизированный ион углерода  $\text{C}^{4-}$  располагается в центре правильной пирамиды, в вершинах которой находятся ионы водорода  $\text{H}^+$ .

При наложении внешнего электрического поля ион углерода смещается из центра пирамиды, и у молекулы возникает дипольный момент, пропорциональный внешнему полю.

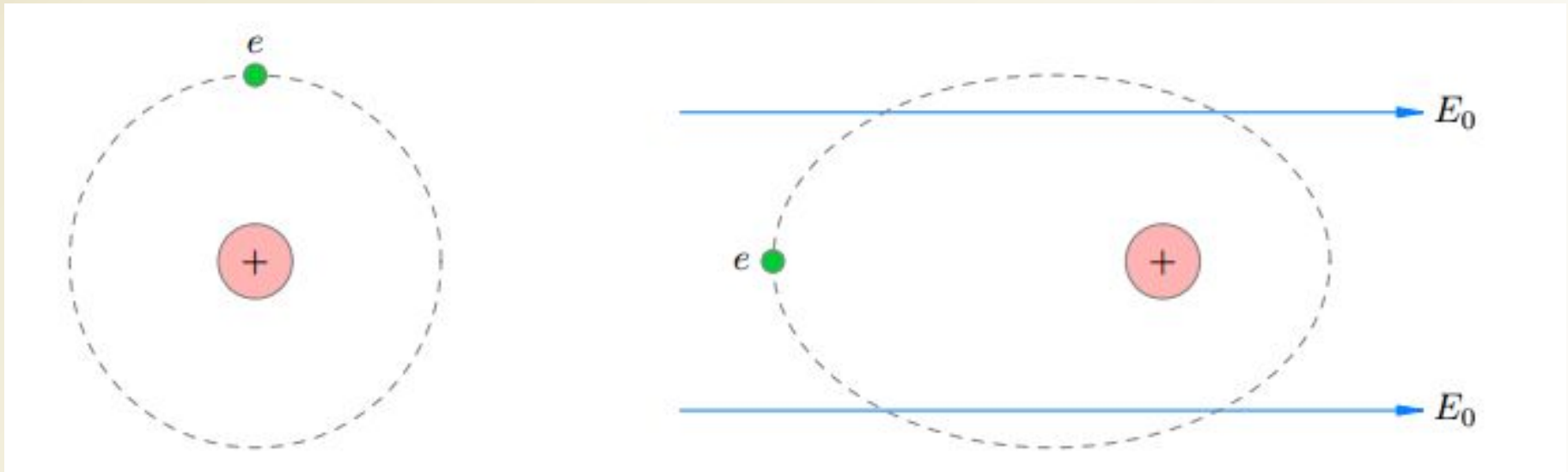
# Ионная поляризация



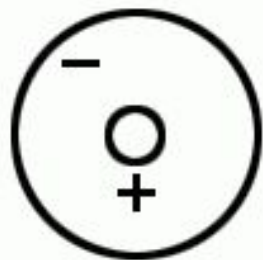
кристалл поляризуется.

# Электронная поляризация

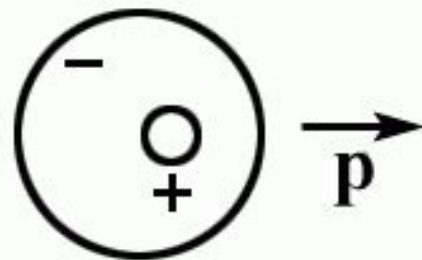
При наложении внешнего поля  $E_0$  орбита деформируется, электрон смещается в сторону положительных зарядов, создающих внешнее



$$E_0 = 0$$

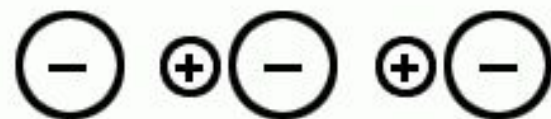
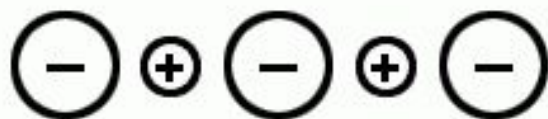


$$\longrightarrow E_0$$

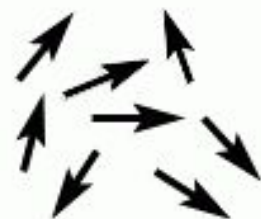
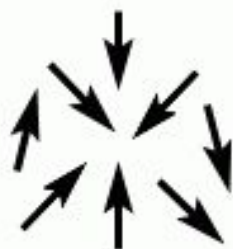


Электронная  
поляризуемость

Ионная  
поляризуемость



Ориентационная  
поляризуемость



# Домашнее задание

- Учебник §91-94,
- №698, 699, 701 (Рымкевич)