



**Лекция: «Электрические и магнитные свойства сред»**

## 1. Электрическое поле. Его основные характеристики. Потенциальное и вихревое электрические поля.

- Все тела в природе способны электризоваться, то есть приобретать **электрический заряд**.
- Наличие электрического заряда проявляется в том, что заряженное тело взаимодействует с другими заряженными телами.
- Опыт показал, что между наэлектризованными телами имеется либо **притяжение**, либо **отталкивание**.
- Это объясняется тем, что имеется два вида электрических зарядов, условно называемых **положительными** и **отрицательными**.

Одноименные заряды отталкиваются,  
разноименные – притягиваются

- Электрический заряд обозначается буквой  $q$ , единица измерения заряда – кулон (Кл).
- Электрический заряд любой системы тел состоит из целого числа **элементарных зарядов**.
- **Элементарный заряд** - это наименьший встречающийся в природе электрический заряд, равный  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
- Наименьшей по массе устойчивой частицей, имеющей отрицательный элементарный заряд, является **электрон** ( $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг).
- У электрона существует и античастица, имеющая положительный элементарный заряд – **позитрон**

**Опр. Электрическое поле** - физический объект, существующий вокруг заряженного тела, посредством которого осуществляются силовые воздействия на электрические заряды, находящиеся в этом поле.

Силовой характеристикой электрического поля служит вектор **напряженности электрического поля**.

Он численно равен и совпадает по направлению с **силой**, действующей на **единичный положительный** заряд, помещенный в данную точку **поля**:

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

Размерность напряженности ЭП: **Н/Кл**.

**Опр. Потенциальное ЭП** – это электростатическое поле, т.е. поле, созданное системой неподвижных электрических зарядов.

Важной характеристикой потенциального ЭП является **потенциал электрического поля** (электрический потенциал).

**Опр. Потенциал электрического поля** – скалярная физическая величина, численно равная отношению потенциальной энергии электрического заряда, помещенного в данную точку поля  $E_{\text{пот.}}$  к величине этого заряда:

$$\varphi = \frac{E_{\text{пот.}}}{q}$$

Единица измерения: 1 вольт (В) = 1 Дж/Кл.

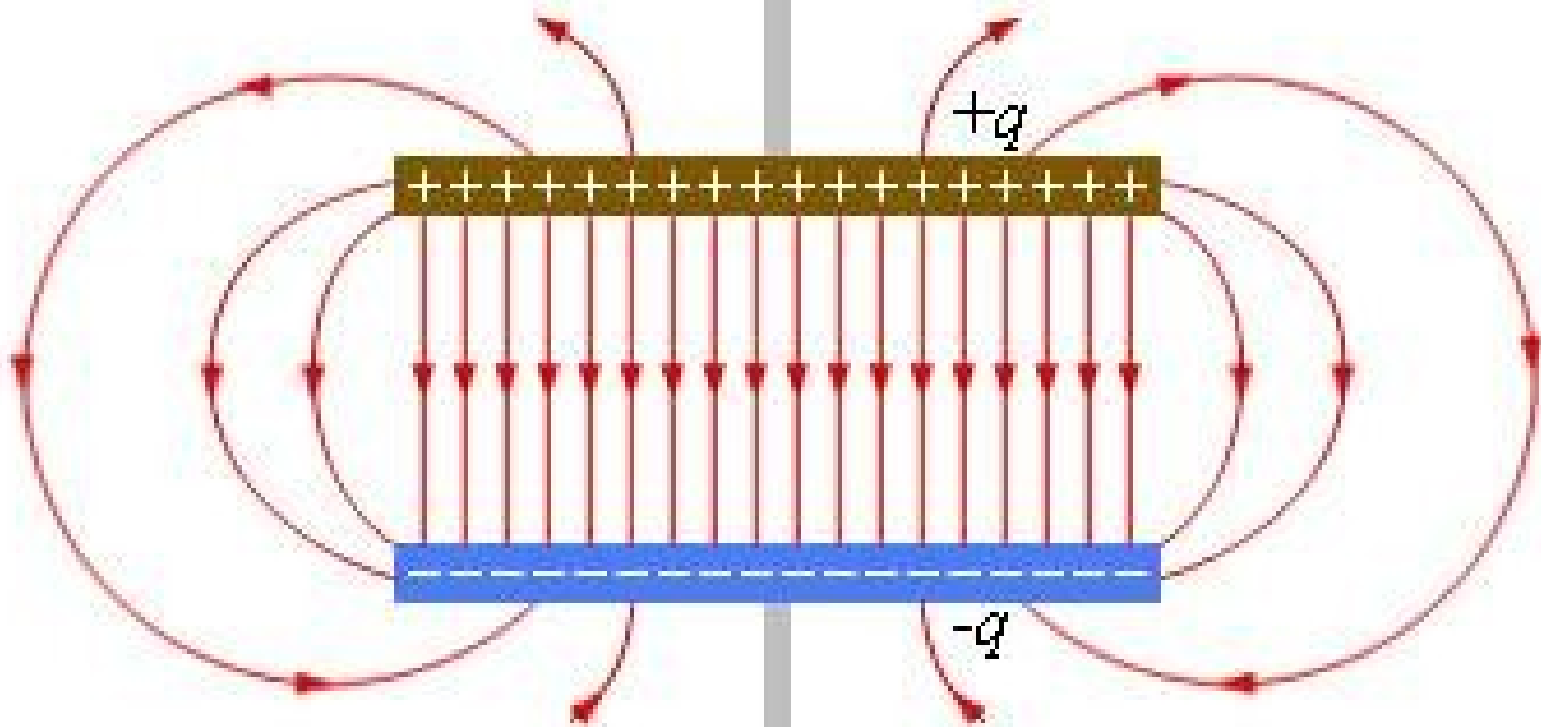
Потенциал электрического поля в данной точке равен **работе сторонних сил** по переносу единичного положительного точечного заряда от точки, потенциал которой принят равным нулю (обычно этой точкой является бесконечность), в данную точку поля.

$$\varphi = \frac{A_{\infty \rightarrow x}}{q}$$

- **Разность потенциалов** – величина, равная работе  $A_{1,2}$ , которую совершают силы электрического поля при перемещении единичного положительного заряда  $q$  из точки с потенциалом  $\varphi_1$  в точку с потенциалом  $\varphi_2$ :

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{эл.1} \rightarrow 2}}{q}$$

- Работа электростатического поля **не зависит от вида траектории** перемещения заряда, а определяется только исходным и конечным положением перемещенного заряда.
- Соответственно, при перемещении заряда **по замкнутому контуру** полная работа электростатического поля равна **нулю**.
- Для графического изображения электростатического поля в пространстве применяется метод **силовых линий**, или **линий напряженности**.
- **Силовыми линиями** называются линии, **касательные** к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора напряженности в этой точке.



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



- Кроме потенциальных ЭП, существуют также **вихревые** электрические поля.
- Их силовые линии **замкнуты**, т.е. не имеют ни начала, ни конца, а **работа** по перемещению заряда по замкнутому контуру **не равна нулю** и зависит от траектории движения заряда.
- Источником вихревых ЭП является **переменное магнитное поле**.

## 2. Проводники и диэлектрики в электрическом поле

**Опр. Свободные заряды** – это заряды частиц, которые могут перемещаться под действием ЭП на расстояние, превышающее размеры отдельных молекул.

Направленное движение свободных зарядов под действием ЭП называют **электрическим током (током проводимости)**.

Вещества, содержащие свободные электрические заряды и способные проводить электрический ток, называют **проводниками**.

В зависимости от вида частиц – носителей свободных зарядов – различают **3 рода проводников**:

1) Проводники 1 рода (**металлы**): носители свободных зарядов – **электроны**;

2) Проводники 2 рода (**растворы и расплавы электролитов**): носители свободных зарядов – **ионы**;

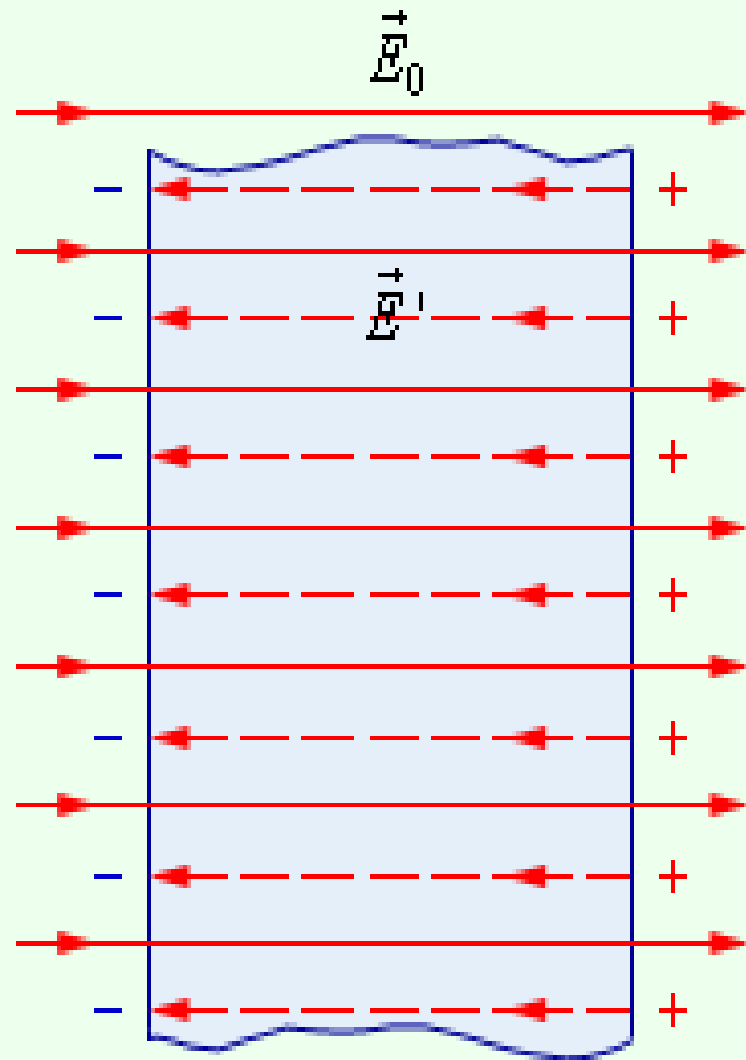
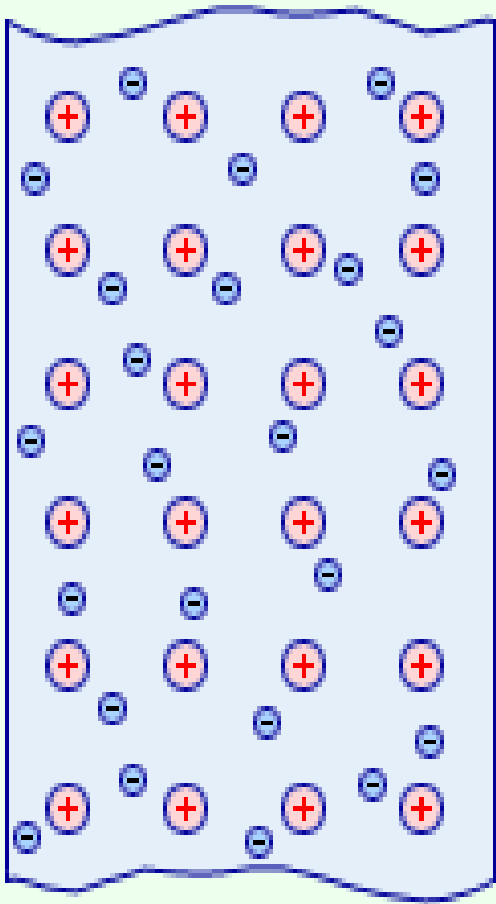
3) Проводники 3 рода (**ионизированные газы = плазма**): носители свободных зарядов – **ионы**.

Биологические ткани относятся к проводникам 2 рода.

- При помещении проводника в электрическое поле в нем происходит **перемещение свободных зарядов** под действием электрических сил.
- Тем самым осуществляется **объемная поляризация среды**, то есть пространственное разобшение разноименных электрических зарядов – разведение их в разные участки макроскопического по сравнению с размерами молекул, объема.
- Разобщенные заряды полностью экранируют внутренность проводника от внешнего электрического поля, вызвавшего объемную поляризацию.

Поэтому **внутри проводника электрическое поле отсутствует** (эффект Фарадея).

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

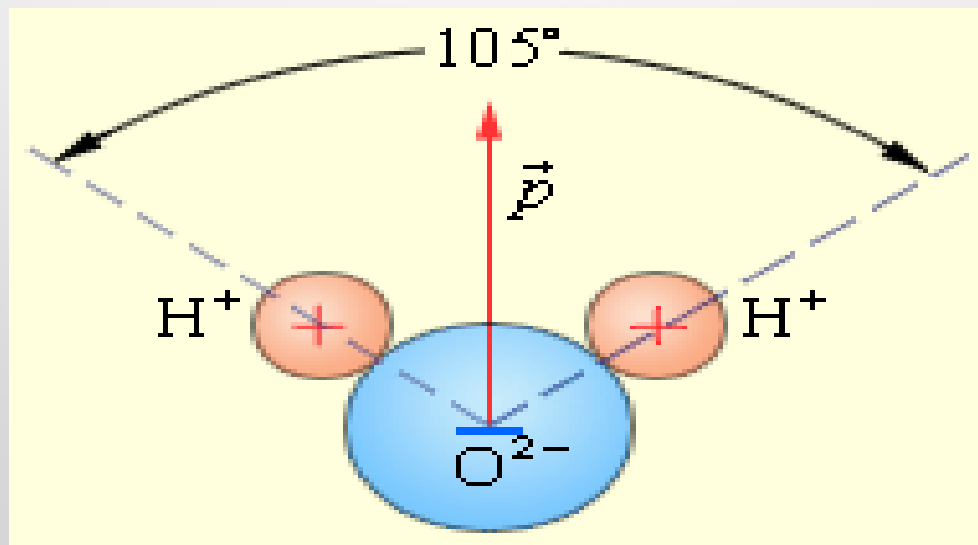


$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' = 0$$

- В среде, кроме свободных, могут присутствовать **связанные электрические заряды**, входящие в состав атомов и молекул.
- Под действием поля такие заряды не могут свободно перемещаться, но **могут изменять свою ориентацию** относительно исходного положения.
- Вещества, которые не содержат свободных зарядов и поэтому не способны проводить электрический ток, называются **диэлектриками**.
- Диэлектрики содержат **только связанные** электрические заряды.

- Простейшей системой связанных зарядов является **электрический диполь**, представляющий собой систему двух одинаковых по величине и противоположных по знаку электрических зарядов ( $+q$  и  $-q$ ), находящихся на расстоянии  $l$ .
- Диполь характеризуется **электрическим дипольным моментом**:  $\vec{p}_e = q \cdot \vec{l}$
- Его размерность – Кл·м.
- Дипольный момент – векторная величина. Он направлен **от отрицательного** заряда **к положительному**.

Опр. Полярными диэлектриками - вещества (вода, аммиак, ацетон, нитробензол и др.), молекулы которых не симметричны, «центры масс» положительных и отрицательных зарядов не совпадают, поэтому такие молекулы обладают **ДИПОЛЬНЫМ МОМЕНТОМ** даже в отсутствие электрического поля.



- На диполь, помещенный в однородное электрическое поле, действует пара сил со стороны электрического поля.
- За счет этих сил внешнее электрическое поле стремится упорядочить расположение диполей, выстраивая их по направлению силовых линий.

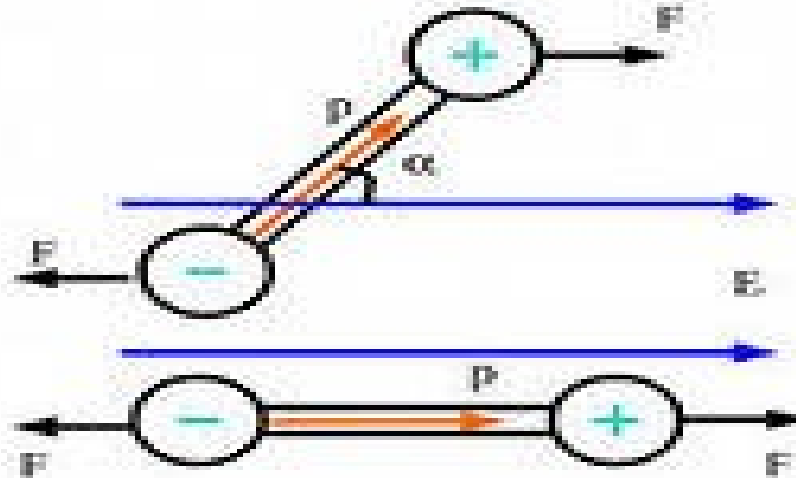
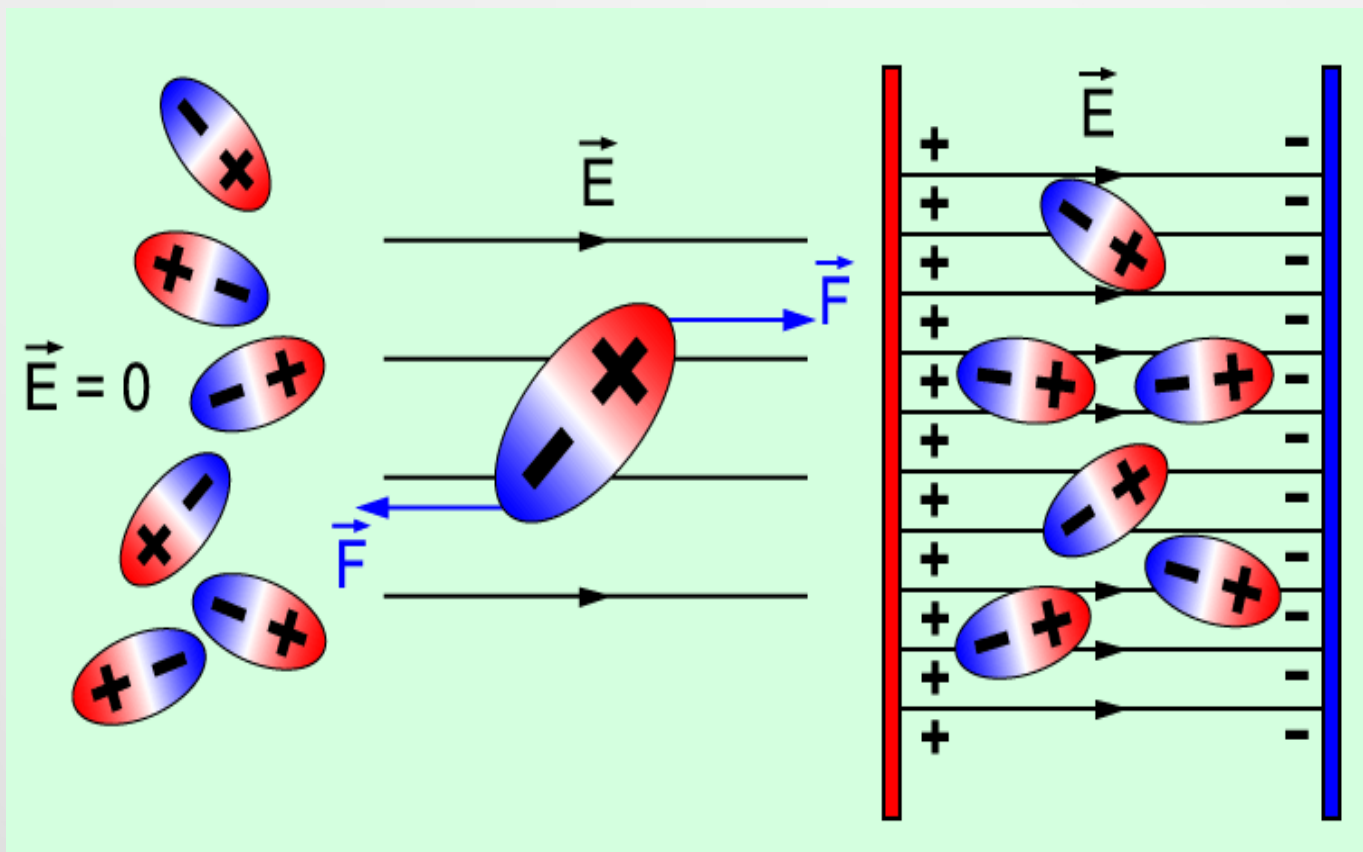


Рис. 18. Диполь в однородном электрическом поле.





В отсутствие внешнего электрического поля дипольные моменты молекул ориентированы хаотически, векторная сумма дипольных моментов всех  $N$  молекул равна нулю

$$\sum_{i=1}^N p_i = 0$$

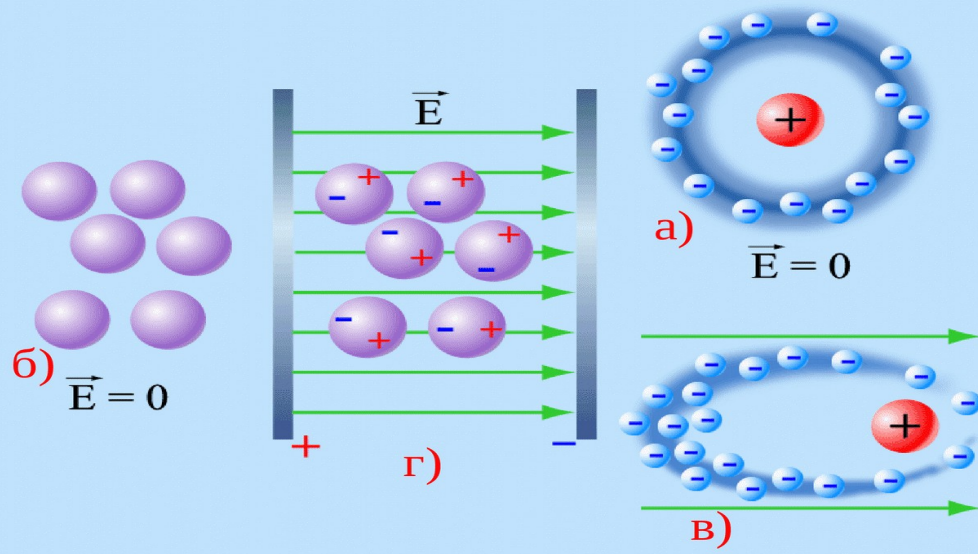
- В электрическом поле за счет ориентации дипольных моментов молекул по полю векторная сумма моментов  **$N$**  молекул не равна нулю:

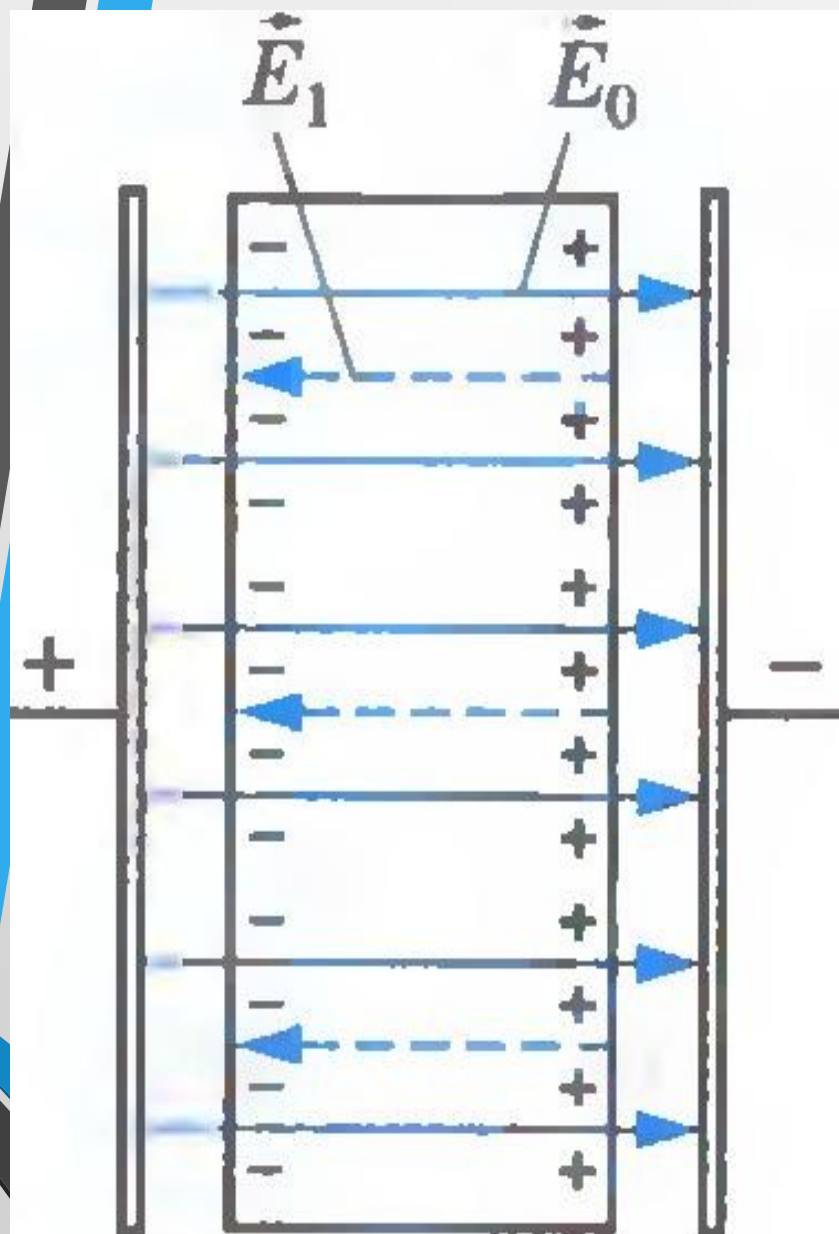
$$\sum_{i=1}^N p_i \neq 0$$

- При этом кусок диэлектрика приобретает **дипольный момент**.
- Это явление называют **поляризацией** диэлектрика.

Опр. **Неполярные диэлектрики** - вещества, молекулы которых в отсутствие электрического поля **не имеют дипольных моментов** - (в таких молекулах «центры масс» положительных и отрицательных зарядов совпадают).

- Если такую молекулу поместить в электрическое поле, то **разноименные заряды** слегка **смещаются** в противоположные стороны, и молекула **приобретает дипольный момент**.
- Такую пол... смещаются... и, так как оболочки.





$$\vec{E}_{cp} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1$$

$$E_{cp} = E_0 - E_1$$

**Опр. Относительная диэлектрическая проницаемость** среды (диэлектрика) – физическая величина, показывающая, во сколько раз ослабляется поле в диэлектрике при его поляризации

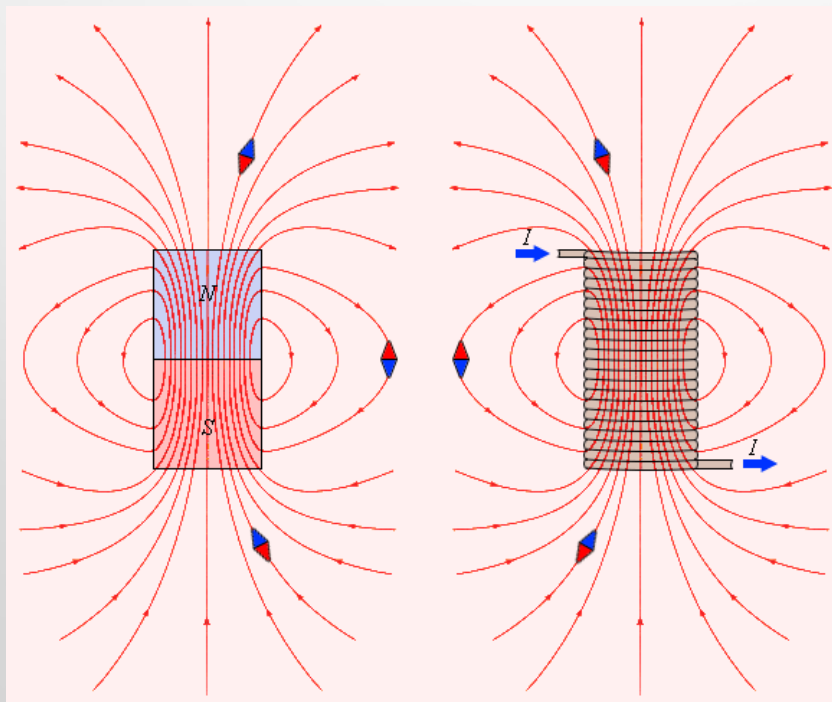
$$\varepsilon = \frac{E_0}{E_{\text{ср}}}$$

# 3. Магнитное поле и его характеристики

**Опр.** Магнитное поле есть особый вид материи, посредством которого осуществляются силовые воздействия **на движущиеся электрические заряды**, находящиеся в этом поле, и другие тела, обладающие магнитным моментом.

Для описания магнитного поля необходимо ввести **силовую характеристику** поля, аналогичную вектору напряженности электрического поля. Такой характеристикой является вектор магнитной индукции  **$B$** .

- Аналогично силовым линиям в электростатике можно построить **линии магнитной индукции**, в каждой точке которых вектор  $\mathbf{B}$  направлен по касательной к ним.
- Линии магнитной индукции **всегда замкнуты**, они нигде не обрываются. Поэтому магнитное поле является **вихревым силовым полем**.



- Для того чтобы количественно описать магнитное поле, нужно указать способ определения не только направления вектора ***B***, но и его модуля.
- Известно, что на заряд, движущийся в магнитном поле, действует сила Лоренца, численно равная:

$$F_{\text{л}} = qvB\sin\alpha$$

- Здесь
  - q*** – величина заряда,
  - v*** – его скорость,
  - B*** – величина вектора магнитной индукции,
  - α*** – угол между векторами ***v*** и ***B***.



## 5. Магнитные свойства сред

- Все вещества при помещении в магнитное поле изменяют свое состояние, вступая с ним во взаимодействие.
- В этом смысле все вещества принято называть **магнетиками**.
- Так как макроскопические различия магнетиков обусловлены **особенностями их строения**, необходимо рассмотреть магнитные характеристики молекул и атомов, а также их поведение в магнитном поле.
- Движение электронов в атоме подобно току, текущему по замкнутому контуру или рамке с током.
- Для характеристики этого движения вводится **магнитный момент  $p_m$** , равный:

$$P_m = I \cdot S$$

где  $I$  – ток, создаваемый электроном, а  $S$  – площадь контура, охватываемая этим током.

В атоме (и в молекуле) магнитные моменты всех электронов векторно складываются, образуя **общий магнитный момент**.

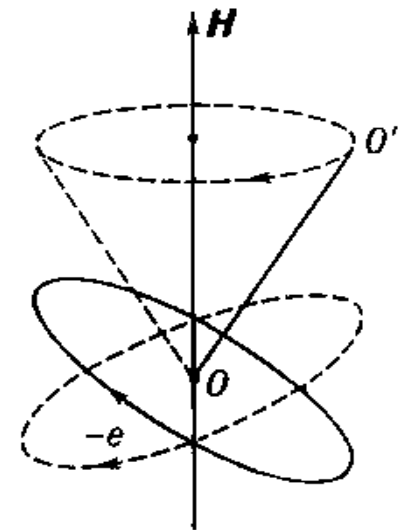
В зависимости от его величины все вещества можно условно разделить на две группы:

**Опр. Диамагнетик** - вещества, у которых в основном состоянии молекула **не имеет магнитного момента** (углеводы, белки, вода, фосфор, сера, углерод и др.)

**Опр. Парамагнетик** - вещества, у которых магнитный момент молекулы **отличен от нуля** (кислород, щелочные и щелочноземельные элементы, некоторые другие металлы и их окислы).

- В магнитном поле электроны атомов и молекул начинают **прецессировать** относительно вектора магнитной индукции  **$B$**  этого поля.
- Прецессионное движение электронов представляет собой **микроток**, который служит источником собственного магнитного поля, направленного **против внешнего поля**.
- Возникновение собственного магнитного поля в среде за счет прецессионного движения электронов, вызванного внешним магнитным полем, называется **диамагнитным эффектом**.

Он присущ как диамагнетикам, так и парамагнетикам.



- В парамагнетиках под действием внешнего магнитного поля, кроме диамагнитного, возникает **парамагнитный эффект**.
- Он представляет собой ориентирование магнитных моментов атомов и молекул **в направлении внешнего магнитного поля**.
- Таким образом, парамагнитный эффект проявляется в **усилении** внешнего магнитного поля, тогда как диамагнитный – в его **ослаблении**.

Относительная магнитная проницаемость вещества показывает, во сколько раз ослабляется или усиливается магнитное поле в веществе:

$$\mu = \frac{B_{\text{ср}}}{B_0}$$

У диамагнетиков  $\mu < 1$ , у парамагнетиков  $\mu > 1$ .

## 6. Электрический ток и его характеристики

**Опр. Электрический ток** – упорядоченное движение свободных заряженных частиц

**Опр. Электропроводность** – свойство веществ проводить электрический ток

**Опр. Сопротивление** – свойство проводника противодействовать установлению электрического тока

**Опр. Сила тока** – количество заряда, прошедшего через площадь поперечного сечения проводника за единицу времени.

$$I = \frac{dq}{dt} \quad \text{где } q\text{-заряд, } t\text{-время } [I] = 1 \text{ А (ампер)}$$

**Опр. Плотность тока** – отношение силы тока к площади поперечного сечения проводника.

где  $S$  - площадь поперечного сечения проводника  $[j] = 1 \text{ А/м}^2$

**Опр. Сопротивление** - физическая величина, характеризующая проводимость электрического тока металлическим проводником

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

[R=1 Ом]

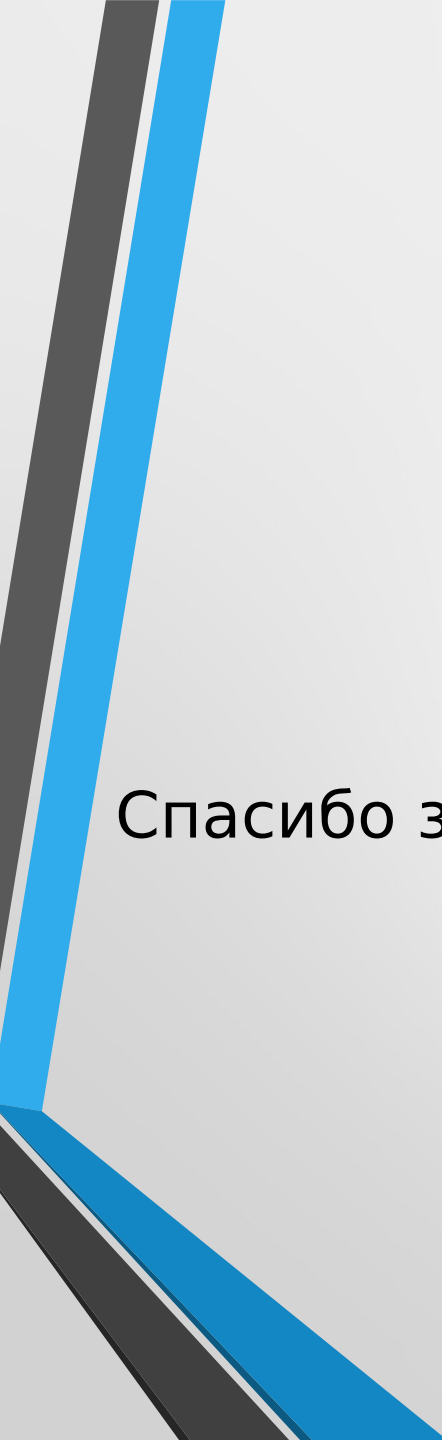
**Опр. Удельное сопротивление** – сопротивление цилиндрического проводника единичной длины и единичной площади поперечного сечения [ρ=1Ом·м]

$$\rho = \frac{1}{g}, \text{ где } g - \text{удельная электропроводность}$$

$$\rho = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t),$$

$\rho_0$  - удельное сопротивление при 20° С

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления



Спасибо за внимание!