

ВОЕННО–МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ

имени С.М. Кирова

Кафедра биологической и медицинской физики

ЛЕКЦИЯ № 5

по дисциплине «Физика, математика»

на тему: «**Электрические и магнитные
свойства сред**»

для курсантов и студентов I курса ФПВ,
ФПиУГВ, спецфакультета

Раздел 1:

Электрические 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**.

- **Определение:**

Электрическое поле есть особый вид материи, 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 \vec{r} точку поля:
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$
- Размерность напряженности ЭП: **Н/Кл**.

- Существуют два вида электрических полей:

а) потенциальное ЭП;

б) вихревое ЭП.

- **Потенциальное ЭП** – это электростатическое поле, т.е. поле, созданное системой **неподвижных** электрических зарядов.
- Важной характеристикой потенциального ЭП является **потенциал электрического поля** (электрический потенциал).
- Это **энергетическая характеристика** потенциального ЭП.

- **Потенциал электрического поля** – скалярная физическая величина, численно равная отношению потенциальной энергии электрического заряда, помещенного в данную точку поля, к величине этого заряда:

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

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

- Другими словами, 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 $\varphi = \frac{A_{\infty \rightarrow x}}{q}$

- **Разность потенциалов** – величина, равная работе $A_{1,2}$, которую совершают силы электрического поля при перемещении единичного положительного заряда q из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом

φ_2 :

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

- **Работа** электростатического поля при перемещении заряда q из точки с потенциалом ϕ_1 в точку с потенциалом ϕ_2 :

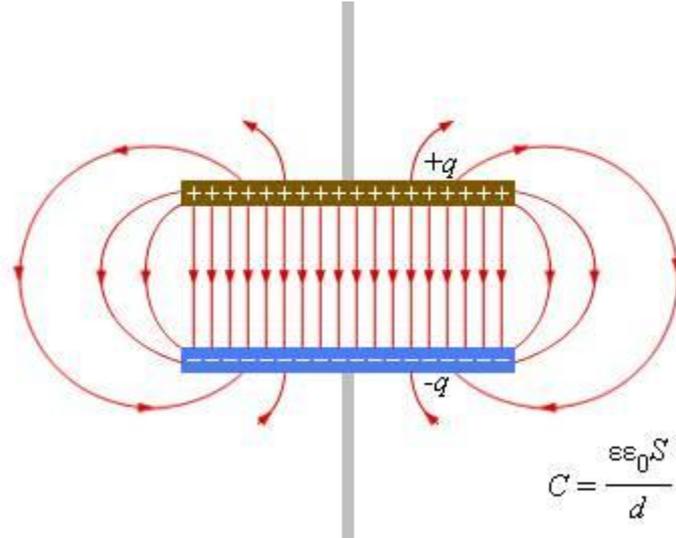
$$A_{1,2} = q \cdot (\phi_1 - \phi_2)$$

- 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**.

- Такое поле называется **потенциальным**.
- **Электростатическое** поле – **потенциальное** поле.

- 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.

- **Следует помнить**, что:
- 1) силовые линии электростатического поля **не пересекаются** друг с другом;
- 2) **имеют начало** на положительном заряде и **конец** на отрицательном или уходят на бесконечность, т.е. являются **незамкнутыми**;
- 3) **густота** силовых линий пропорциональна величине напряженности электростатического поля.



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

- 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.

- Под действием электрического поля в веществе происходит **перемещение электрических зарядов**.
- Различают **свободные** и **связанные** электрические заряды.
- В зависимости от преобладания того или иного вида зарядов различают **проводники** и **диэлектрики**.

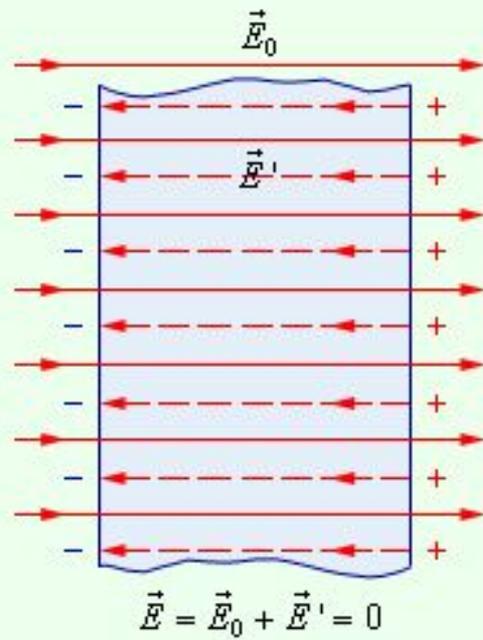
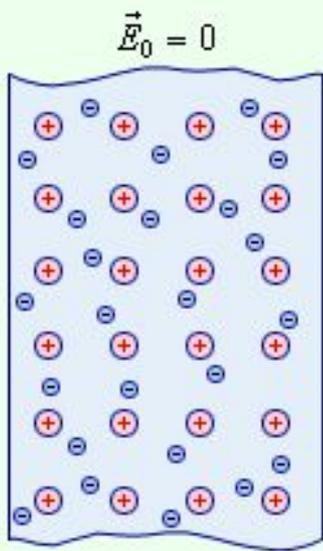
- **Свободные заряды** – это заряды частиц, которые могут перемещаться под действием ЭП на расстояние, превышающее размеры отдельных молекул.
- Направленное движение свободных зарядов под действием ЭП называют **электрическим током (током проводимости)**.

- 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).



- 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.

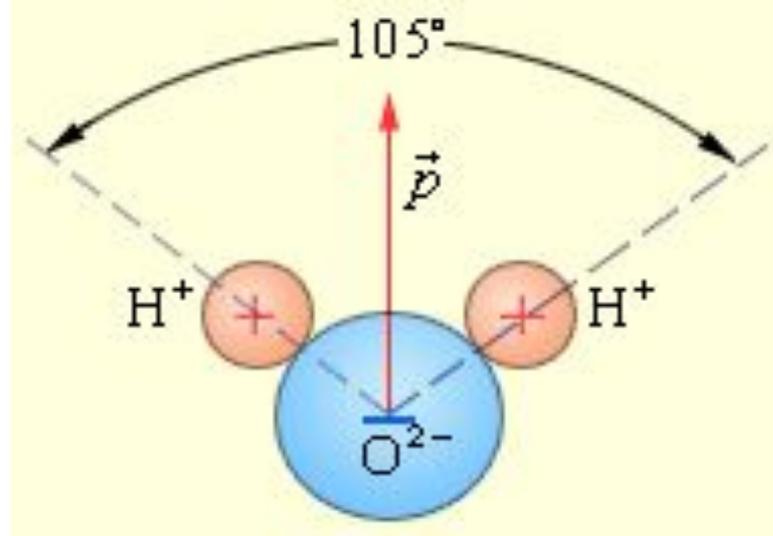
- Вещества, которые не содержат свободных зарядов и поэтому не способны проводить электрический ток, называются **диэлектриками**.
- Диэлектрики содержат **только связанные** электрические заряды.

- 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 .

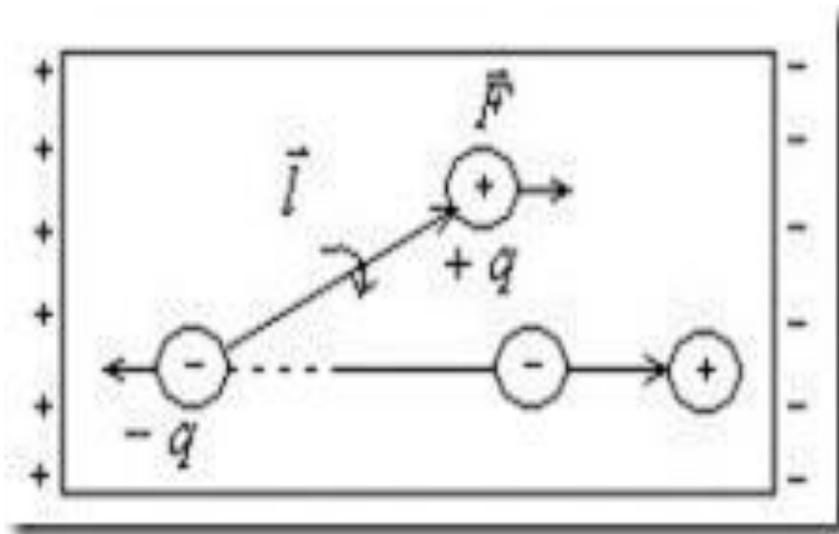
- Диполь характеризуется электрическим **дипольным моментом** $\vec{p}_e = q \cdot \vec{l}$
- Его размерность – Кл · м.
- Дипольный момент – векторная величина. Он направлен **от отрицательного заряда к положительному**.

- Основными видами диэлектриков являются:
- а) неполярные;
- б) полярные;
- в) кристаллические.

- **Полярными диэлектриками** являются такие вещества, как вода, аммиак, ацетон, нитробензол и др.
- Молекулы эти диэлектриков 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.



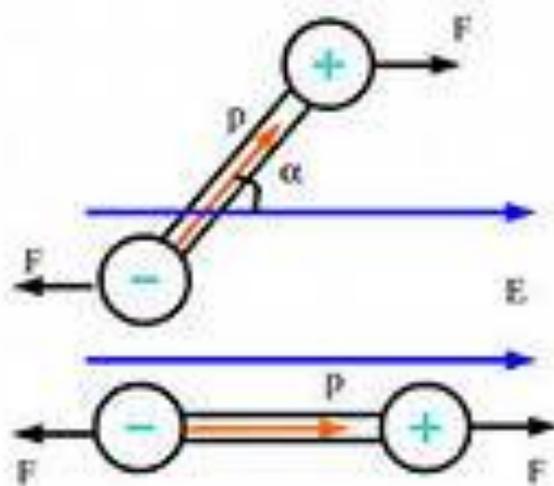
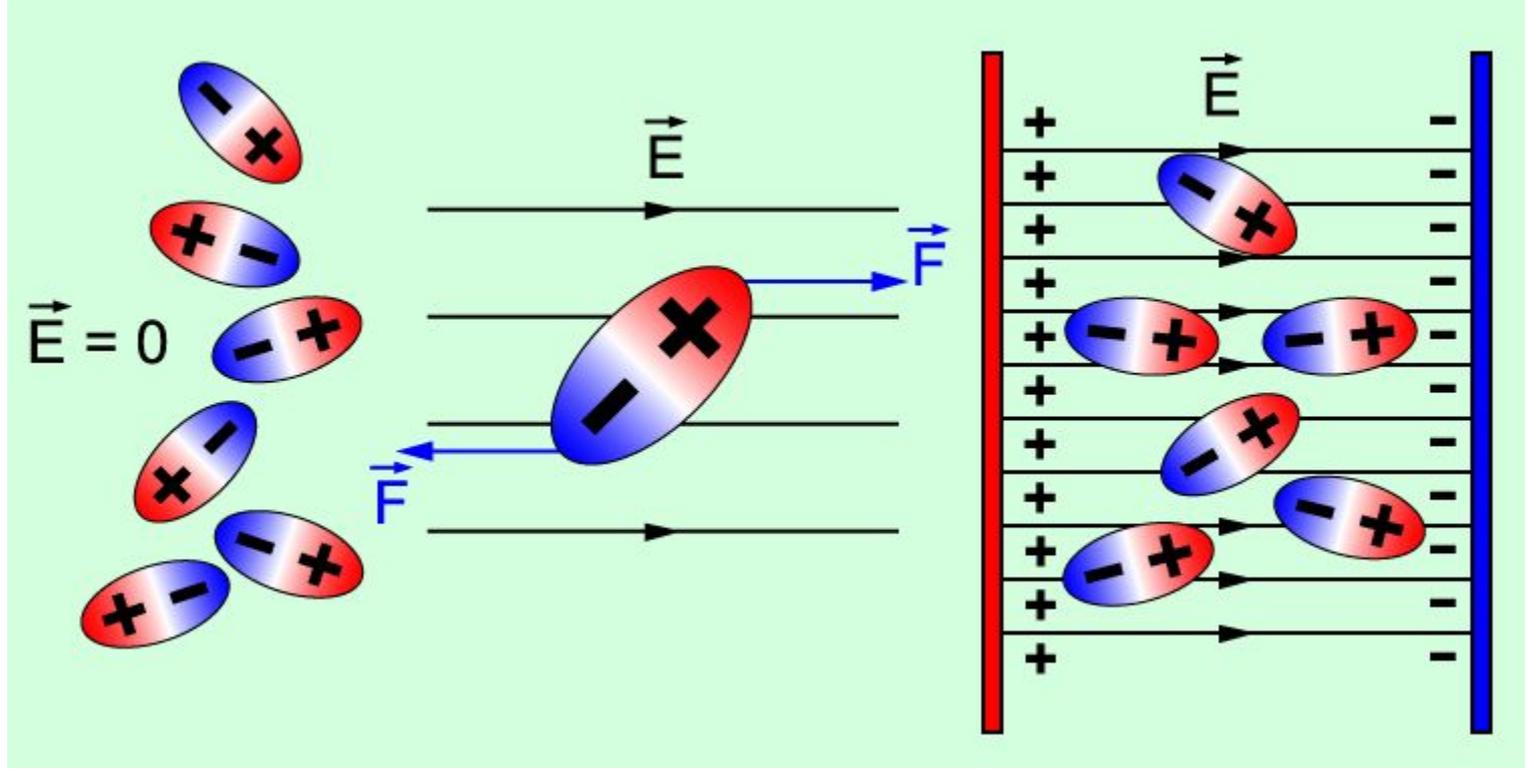


Рис. 18. Диполь в однородном электрическом поле.



- 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.

- Поляризацию полярных диэлектриков называют **ориентационной**.

- К **неполярным диэлектрикам** относят вещества, молекулы которых в отсутствие электрического поля **не имеют дипольных моментов**.
- Это водород, кислород и др.
- 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 поляризацию называют **электронной**, так как смещаются главным образом электронные оболочки.

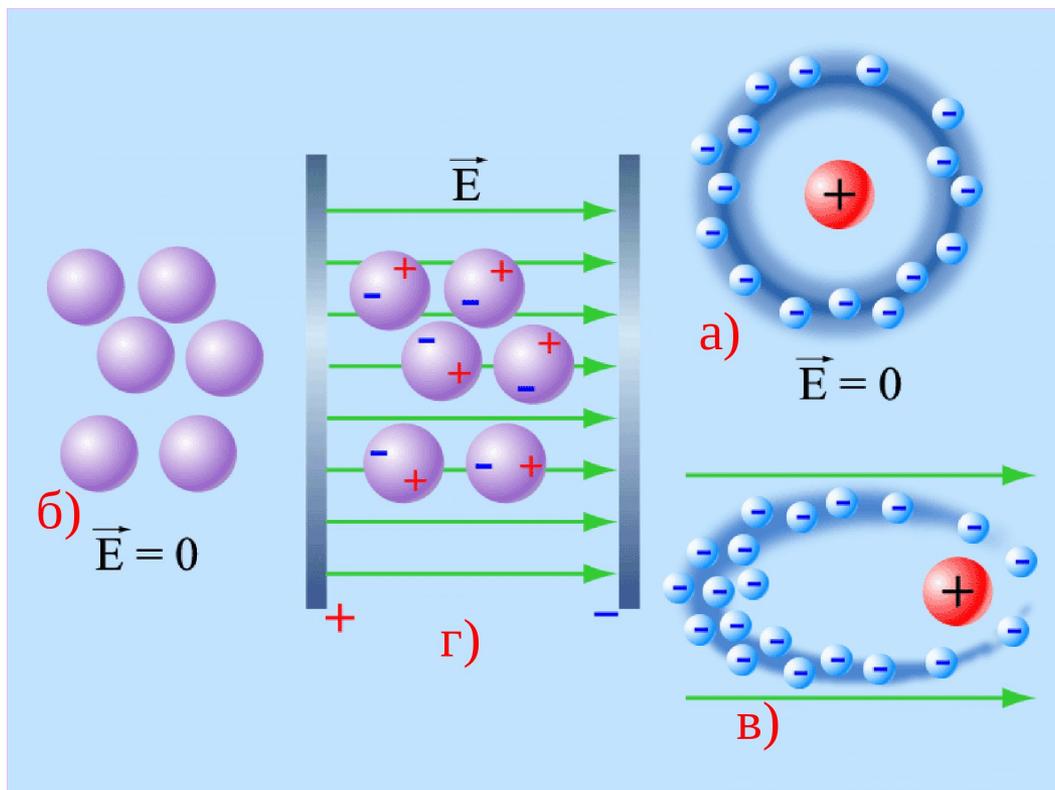


Рис. 19. неполярный диэлектрик.

- В **кристаллических диэлектриках** происходит смещение узлов кристаллической решетки – **ионная поляризация**.

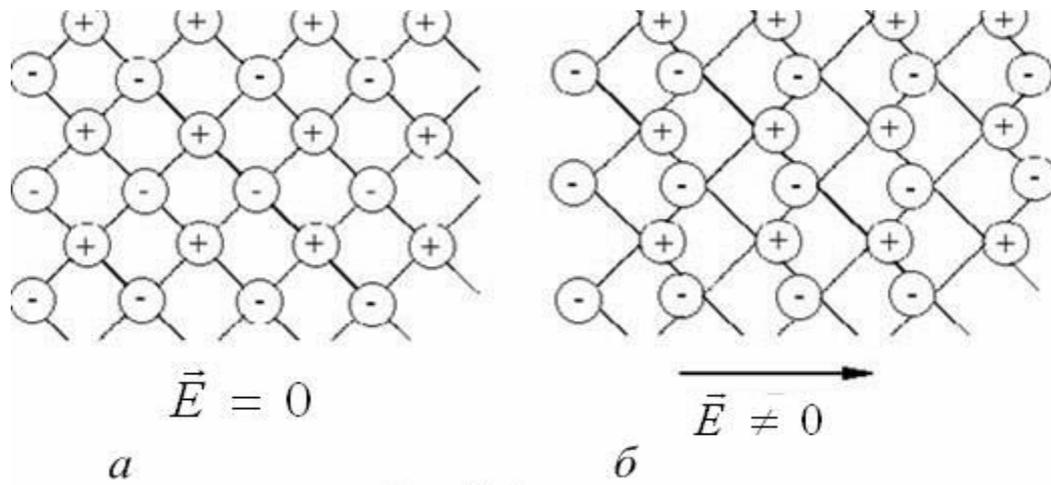


Рис.12.3

- Все виды поляризации приводят к **появлению связанных зарядов на поверхности** диэлектрика, вследствие чего ослабляется напряженность электрического поля внутри вещества.

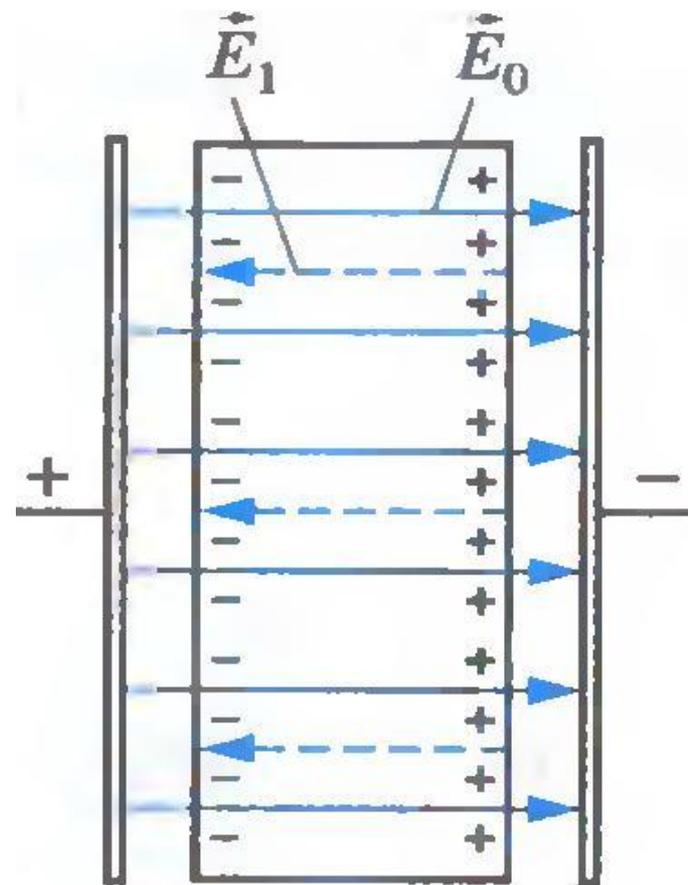


Рис. 14.25

- Соответственно,

$$\vec{E}_{\text{ср}} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1$$

- Или в скалярной форме:

$$E_{\text{ср}} = E_0 - E_1$$

- Величина, показывающая, во сколько раз ослабляется поле в диэлектрике при его поляризации, носит название **относительной диэлектрической проницаемости** среды (диэлектрика):

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

- Для оценки состояния поляризации диэлектрика вводят величину, называемую **поляризованностью** (вектором поляризации).
- Вектор поляризации – это суммарный дипольный момент единицы объема диэлектрика:

$$\vec{P}_e = \sum_{i=1}^N \frac{\vec{p}_i}{V}$$

- Вектор поляризации зависит от напряженности внешнего электрического поля и способности диэлектрика поляризоваться (ϵ):

$$\vec{P}_e = \epsilon_0(\epsilon - 1)\vec{E}$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - электрическая постоянная.

3. Магнитное поле и его характеристики

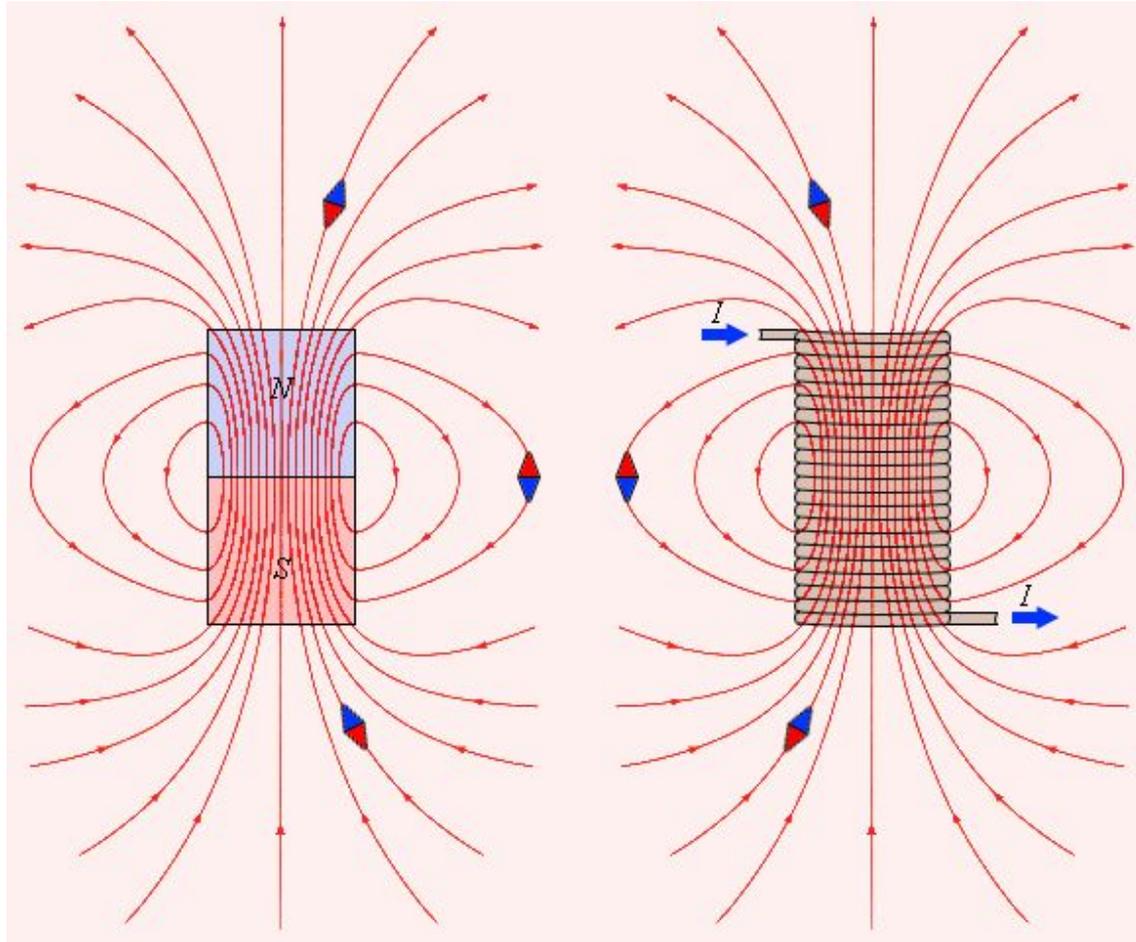
- **Определение:** Магнитное поле есть особый вид материи, посредством которого осуществляются силовые воздействия **на движущиеся электрические заряды**, находящиеся в этом поле, и другие тела, обладающие магнитным моментом.

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

- За положительное направление вектора ***B*** принимается направление от южного полюса ***S*** к северному полюсу ***N*** магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле.

- Таким образом, исследуя магнитное поле, создаваемое током или постоянным магнитом, с помощью маленькой магнитной стрелки, можно в каждой точке пространства определить направление вектора B .
- Такое исследование позволяет представить пространственную структуру магнитного поля.

- Аналогично силовым линиям в электростатике можно построить **линии магнитной индукции**, в каждой точке которых вектор **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 \mathbf{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

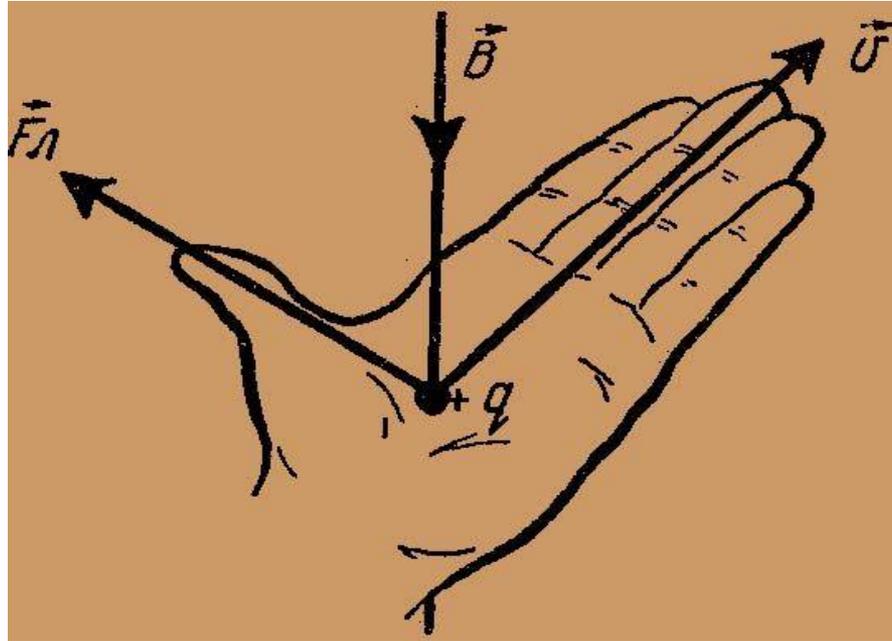
q – величина заряда,

v – его скорость,

B – величина вектора магнитной индукции,

α – угол между векторами v и B .

- Направление силы Лоренца определяют по правилу левой руки:



- Сила Лоренца (магнитная сила) всегда перпендикулярна плоскости, в которой лежат векторы \mathbf{v} и \mathbf{B} .
- Этим она отличается от электрической силы, которая направлена так же, как вектор \mathbf{E} .

- Из формулы Лоренца можно дать определение магнитной индукции **B** :
- Вектор магнитной индукции численно равен **силе**, действующей на **единичный положительный заряд**, двигающийся с **единичной скоростью** перпендикулярно линиям магнитной индукции:

$$B = \frac{F_L}{qv} \quad (\sin\alpha = 1, \alpha = 90^\circ)$$

4. Магнитные свойства сред.

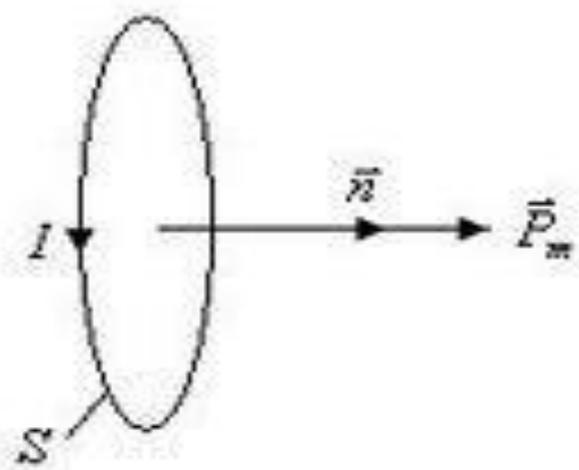
- Все вещества при помещении в магнитное поле изменяют свое состояние, вступая с ним во взаимодействие.
- В этом смысле все вещества принято называть **магнетиками**.
- Так как макроскопические различия магнетиков обусловлены **особенностями их строения**, необходимо рассмотреть магнитные характеристики 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 \mathbf{p}_m , равный:

$$\mathbf{p}_m = I \cdot \mathbf{s}$$

- где I – ток, создаваемый электроном, а \mathbf{s} – площадь контура, охватываемая этим током.

- Размерность магнитного момента: $A \cdot m^2$.
- Магнитный момент приложен **в центре контура** перпендикулярно его плоскости и ориентирован относительно тока **по правилу буравчика**.



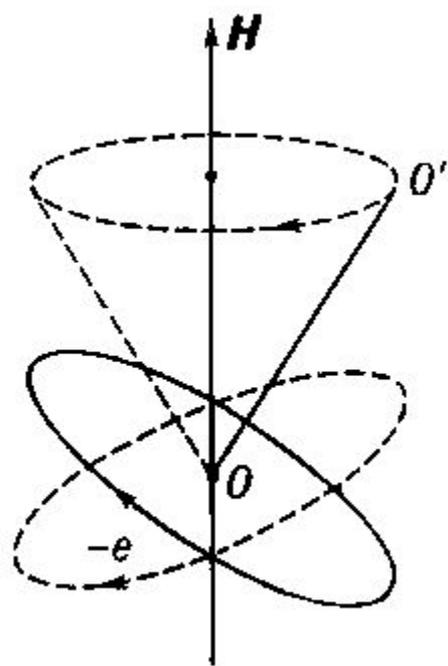
- В атоме (и в молекуле) магнитные моменты всех электронов векторно складываются, образуя **общий магнитный момент**.
- В зависимости от его величины все вещества можно условно разделить на две группы:

- Вещества, у которых в основном состоянии молекула **не имеет магнитного момента**. Такие вещества называются **диамагнетиками**.
- К ним в частности относятся углеводы, белки, вода, фосфор, сера, углерод и другие.

- Вещества, у которых магнитный момент молекулы **отличен от нуля**. Их называют **парамагнетиками**.
- Например, 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 $\mu > 1$.

- Возникновение собственного магнитного поля в веществе под действием внешнего поля называется **намагничивением**.
- Количественной мерой этого эффекта служит **вектор намагничения**, определяемый как суммарный магнитный момент атомов и молекул в единице объема вещества:

$$\vec{J} = \sum_{i=1}^N \frac{\vec{p}_m}{V}$$

- Вектор намагничивания связан с напряженностью магнитного поля:

$$\vec{J} = (\mu - 1)\vec{H}$$

- где $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0 \mu}$
- $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная.