

Полярные диэлектрики

Полярные

диэлектрики

- дипольная

(ориентационная)

поляризация, м.б.

кристаллическими,

жидкими и

газообразными.

Значения ϵ до

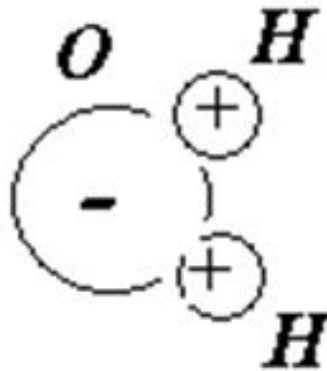
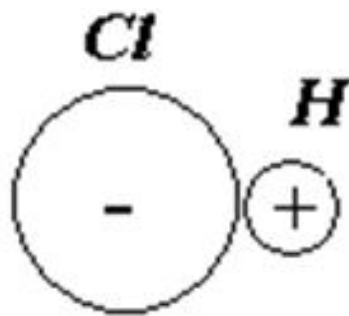
неск. десятков (в

жидкостях и кристаллах при комн. температуре).

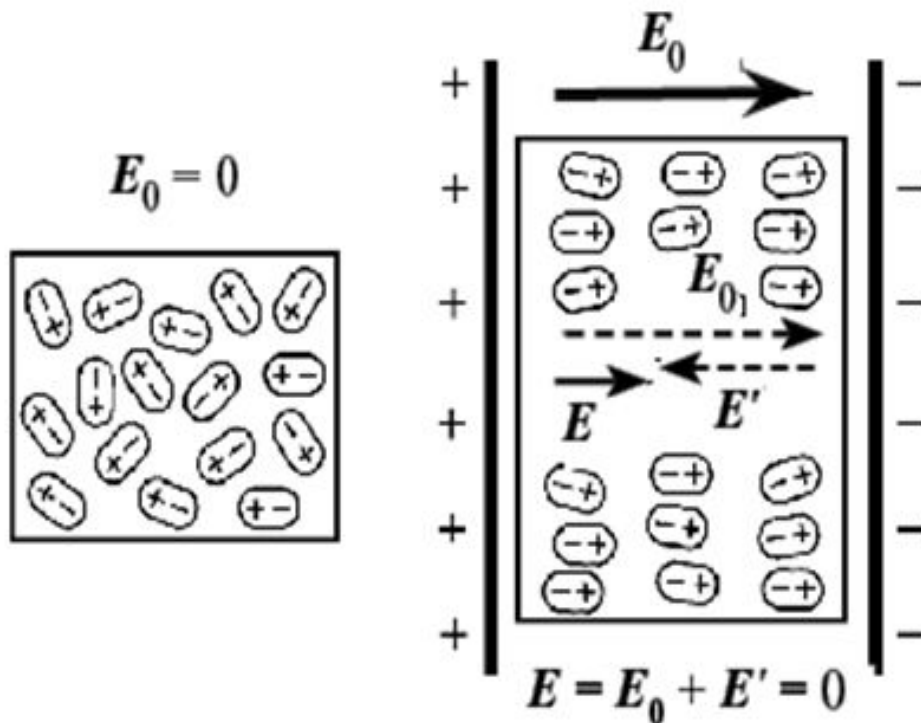
Молекулы полярных диэлектриков имеют собственный (не наведенный) ДМ.

ЭП поворачивает диполи p_0 вдоль линий поля, их ДМ складываются и создают поляризацию

вещества.



Полярные диэлектрики (2)



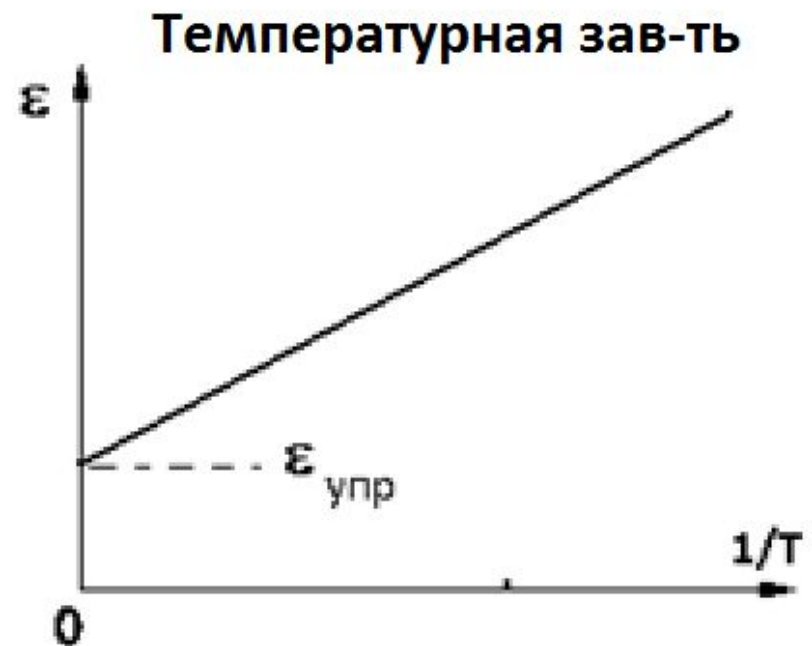
$$\kappa = \frac{np_0^2}{3kT} \Rightarrow$$

$$\varepsilon = 1 + \frac{np_0^2}{3kT}$$

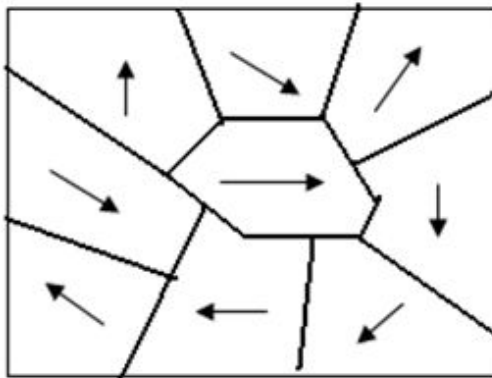
кТ в знаменателе \leftarrow
 тепловое движение
 нарушает ориентацию
 диполей вдоль ЭП.
 Признаки:

- 1) $\kappa > 1$ ($\varepsilon = 81$ для воды при комнатной температуре);
- 2) ε зависит от частоты - \downarrow с $\uparrow f$, т.к. молекулы не успевают развернуться
- 3) зависит от температуры - \downarrow с $\uparrow t^\circ$

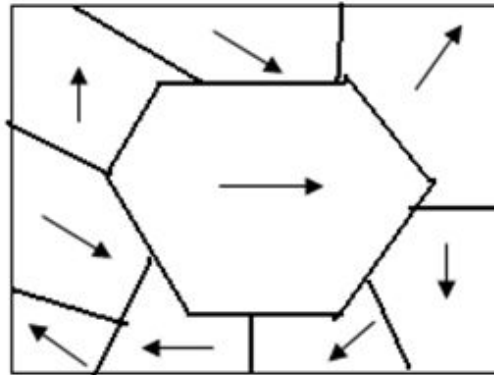
Полярные диэлектрики (3)



Сегнетоэлектрики



$$E=0 \quad P=0$$



$$\longrightarrow \\ E \neq 0 \quad P \neq 0$$

Сегнетоэлектрики
(сегнетова соль $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) – это крист. диэлектрики, в которых есть области (домены) спонтанной поляризации, которая создается силами хим. связи в кристалле. Домен – часть

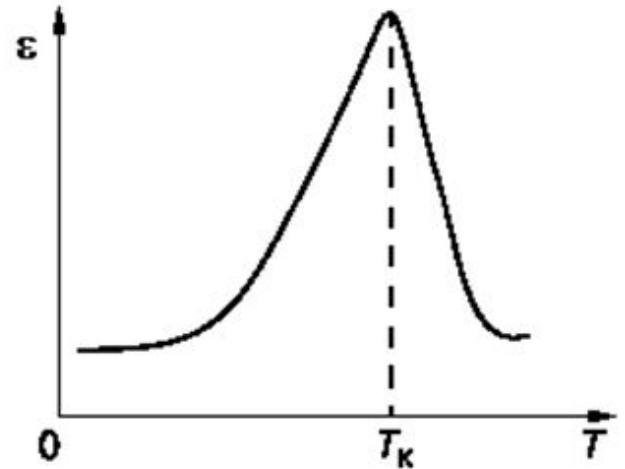
кристалла (кристаллита в поликристаллах), типичные размеры порядка микрона, а направления ДМ жестко связаны с выделенными направлениями в кристаллической решетке.

В равновесном состоянии без внешнего ЭП кристалл (кристаллит) самопроизвольно разбивается на несколько доменов так, чтобы их ДМ компенсировали друг друга и не создавали своего ЭП снаружи.

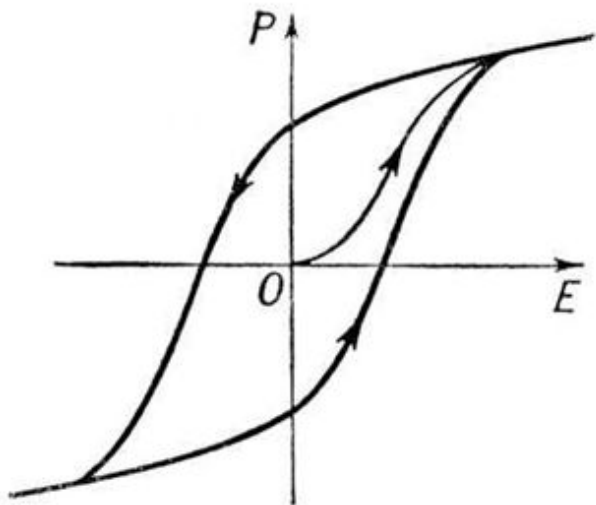
При включении внешнего ЭП происходит поляризация, но не за счет поворота доменов, а за счет перемещения границ между доменами (доменных стенок). В результате объем ориентированных вдоль поля доменов растет и появляется суммарный ДМ.

Сегнетоэлектрики (2)

Особенности: 1) только кристаллы с определенной симметрией;
2) $\epsilon \gg 1$, до 10^4 ;
3) $\epsilon \downarrow$ с \uparrow частоты изменения ЭП, т.к. доменные стенки не успевают передвигаться;
4) ϵ зависит от температуры: max при температуре Кюри T_K , при которой происходит ФП 2 рода и сегнетоэлектрик превращается в полярный диэлектрик;

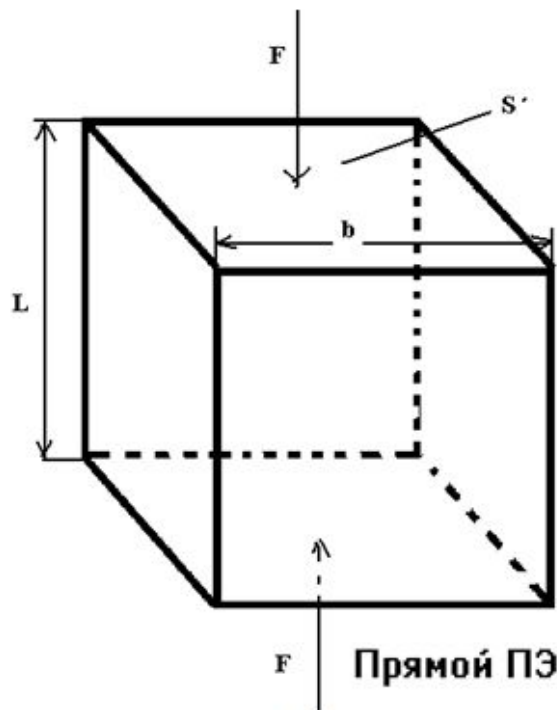


5) поляризованность нелинейно зависит от ЭП и наблюдается гистерезис:



Пьезоэлектрики

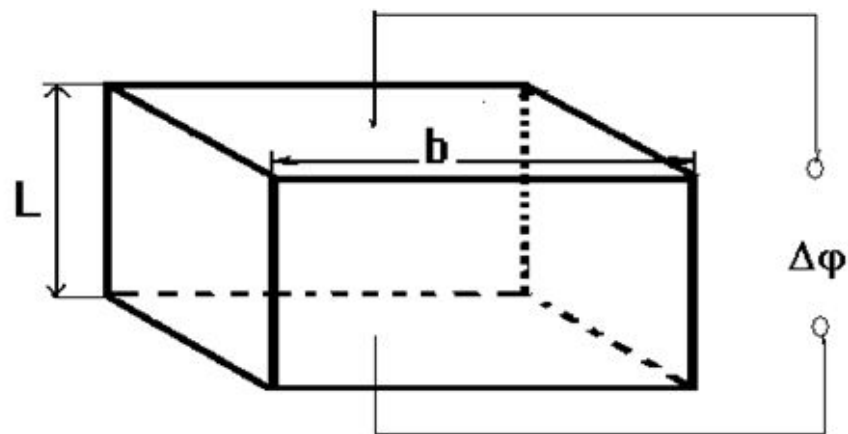
Пьезоэлектрики— кристаллические диэлектрики, в которых наблюдается *пьезоэффект*.



Под действием деформации возникает эл. заряд на поверхности и разность потенциалов

$$\Delta\phi = \alpha (F/S) L$$

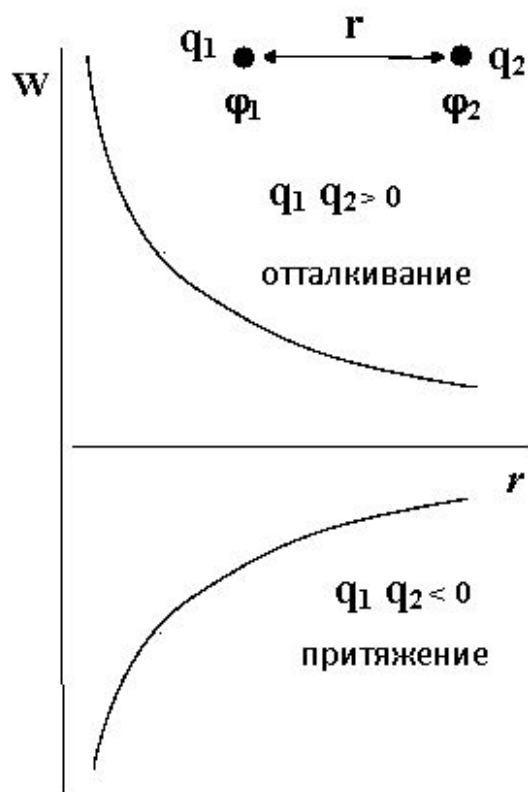
α - пьезомодуль (типичное значение $\alpha \sim 10 \text{ м}^2/\text{Кл}$, что при $(F/S) \sim 10^7 \text{ Па}$ и $L \sim 1 \text{ мм} \Rightarrow \Delta\phi = 10^5 \text{ В}$).



Приложенное напряжение меняет размеры (как L так и b):

$$\Delta L/L = \beta E - \text{где } \beta - \text{ пьезомодуль 2 рода.}$$

ПЭ системы электрических зарядов



Энергия взаимодействия 2 точ. зарядов:

$$W = q_1 \varphi_1 = q_1 (k q_2 / r) = q_2 \varphi_2 = q_2 (k q_1 / r) \\ = (1/2) (q_1 \varphi_1 + q_2 \varphi_2)$$

Если зарядов больше, то формула обобщается:

$$W = 1/2 \sum q_i \varphi_i$$

Коэф-нт $1/2$ учитывает, что в сумме каждая пара зарядов входит дважды, q_i - один из зарядов, φ_i - потенциал ЭП в месте размещения q_i от всех **других** зарядов.

Если заряды не точечные, а находятся на проводниках, то формула та же:

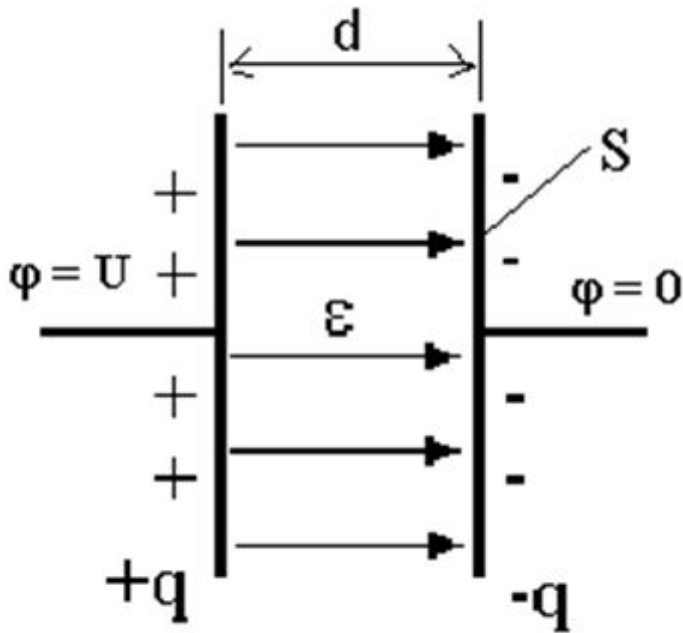
$$W = 1/2 \sum q_i \varphi_i$$

но φ_i - потенциал ЭП тела с зарядом q_i от всех зарядов, **включая** q_i .

Полную энергию системы зарядов можно разделить на 2 части:

$$W = \sum W_{\text{собст}} + \sum W_{\text{взаимод}}$$

Энергия электрического поля



Для простоты ЭП плоского конденсатора.

$$W = \frac{1}{2} q U = \frac{1}{2} C U^2$$

$$C = \epsilon \epsilon_0 S/d$$

$$W = \frac{1}{2} (\epsilon \epsilon_0 S/d) U^2 = \frac{1}{2} (\epsilon \epsilon_0 S d) \cdot (U^2 / d^2) =$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 V$$

$W \sim V$ и зависит от свойств диэлектрика.

Поэтому энергию кон-ра относят к диэлектрику с *объемной плотностью энергии ЭП w*:

$$W = w V$$

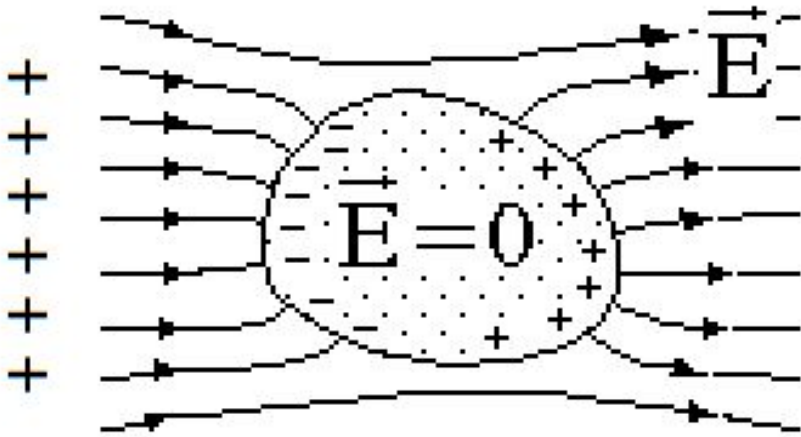
$$w = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2} D E = \frac{1}{2} D^2 / \epsilon \epsilon_0$$

Это выражение для w справедливо для любых электрических полей.

ЭП \Rightarrow энергия \Rightarrow масса $m = W/c^2 \Rightarrow \mu = w/c^2$

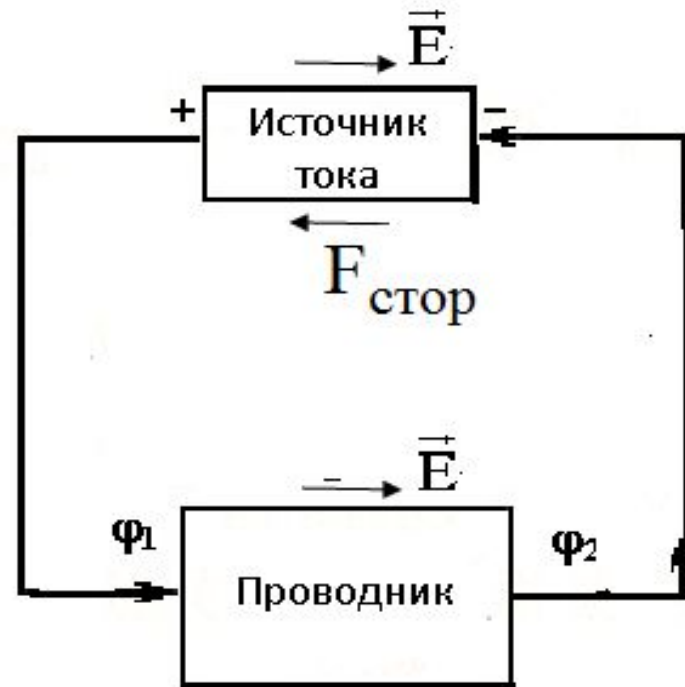
У ЭП имеются признаки материи, типичные для вещества – энергия и масса.

Электростатическое и стационарное ЭП



Электростатическое:

Только статические заряды и проводник.
ЭП внутри проводника нулевое.
Ток нулевой.



Стационарное:

Движущиеся заряды, проводник и источник тока.
ЭП внутри проводника ненулевое.
Ток ненулевой.

Электрический ток

Электрический ток – направленное движение эл. зарядов.

Сила тока – скалярная ФВ, равная заряду, переносимому через поперечное сечение проводника в единицу времени.

$$I = Q/t$$

Ед. силы тока – ампер (А) основная в СИ, такая, что Кл = А·с

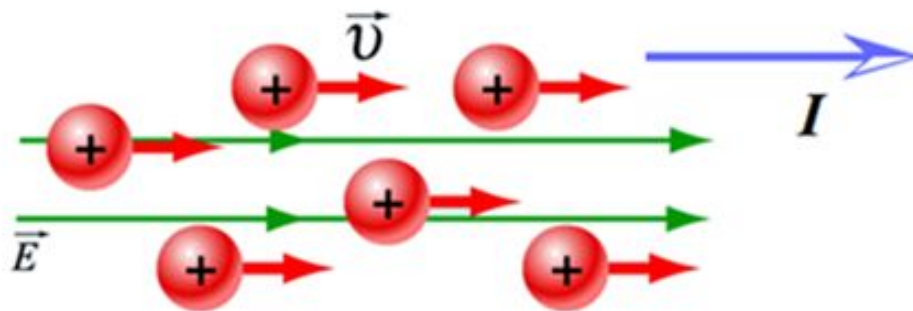
Направление тока – след. Слайд

Виды токов:

- 1 – проводимости
- 2 – конвенционный
- 3 – диффузионный
- 4 – смещения

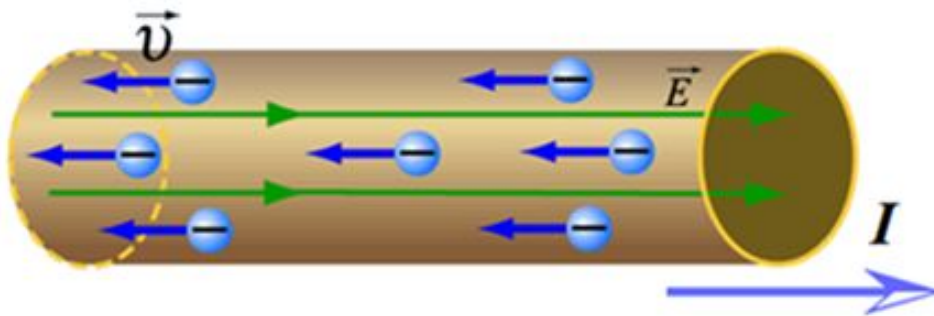
Направление тока

Направленное движение носителей заряда под действием ЭП (дрейф) накладывается на хаотическое тепловое движение.

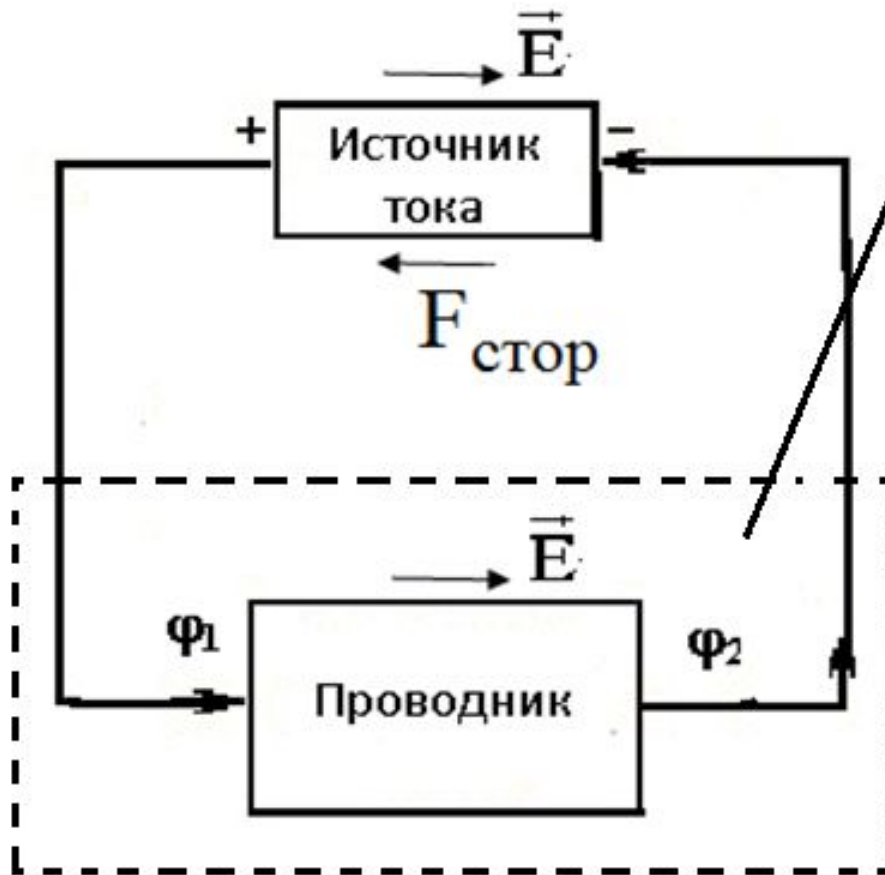


(+) заряды дрейфуют в направлении ЭП и создают ток в том же направлении.

(-) заряды дрейфуют против ЭП и создают ток в направлении ЭП.



Закон Ома для участка цепи



однородный
участок цепи

Разность потенциалов
(напряжение):

$$U = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$$

Закон Ома (1826):

$$I = U/R$$

R - эл. сопротивление

Ед. изм. $[R] = \text{Ом} = \text{В/А}$

$$R = \rho l / S \quad \rho - \text{удельное сопротивление} \quad [\rho] = \text{Ом м}$$

Закон Ома - эмпирический

Удельное сопротивление (при КТ)

Удельное сопротивление некоторых веществ, Ом·мм²/м

Серебро	0,016	Никелин (сплав)	0,40	Графит	13
Медь	0,017	Манганин (сплав)	0,43	Фарфор	10 ¹⁹
Золото	0,024	Константан (сплав)	0,50		
Алюминий	0,028	Ртуть	0,96	Эбонит	10 ²⁰
Вольфрам	0,058	Нихром (сплав)	1,1		
Железо	0,10	Фехраль (сплав)	1,3	Фторопласт	10 ²³
Свинец	0,21			Парафин	10 ²⁴

$$1 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м} = 10^{-6} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

(напр., для меди $\rho = 0,017 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$)

Закон Ома в дифференциальной форме

$I = U/R$ – закон Ома

Электрическое сопротивление R :

$$R = \rho (l/S)$$
$$I = \frac{U}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{U S}{\rho l} = \frac{U}{l} \cdot \frac{S}{\rho}$$

$(I/S) = j$ - плотность тока \Rightarrow вектор \mathbf{J}

$$U/l = E \Rightarrow \mathbf{E}$$

$$\mathbf{J} = \mathbf{E} / \rho = \sigma \mathbf{E}$$

– закон Ома в векторной и дифференциальной форме.

$\sigma = 1/\rho$ - удельная электропроводность, $[\sigma] = \text{Ом}^{-1}\text{м}^{-1}$.

Закон Джоуля-Ленца в дифференциальной форме

$$Q = I^2 R \Delta t = j^2 S^2 \rho (l / S) \Delta t = \rho j^2 V \Delta t$$

Поделить на объем и время:

$(Q/V)/\Delta t \Rightarrow dq/dt$ - удельная мощность тока

$$dq/dt = \rho j^2 = \sigma E^2 = (\mathbf{J}, \mathbf{E}) -$$

закон Джоуля-Ленца в векторной и дифференциальной форме.

Классификация веществ по удельным сопротивлениям



	ρ , Ом·м
Сверхпроводники	0
Металлы	$10^{-8} - 10^{-6}$
Полупроводники и электролиты	$10^{-6} - 10^8$
Изоляторы (диэлектрики)	$>10^8$



Магнетизм (история)

Название от минерала магнетита Fe_3O_4 – камень из Магнесии, магнитные явления – явления, происходящие с магнетитом и похожими веществами;

Открытие магнитного поля (МП) Земли (Вильям Гильберт, 16 век);

Взаимодействие магнитов, магнитный закон Кулона (1785);

Действие токов на магниты (Эрстед 1820);

Действие магнитов на токи и взаимодействие токов (Ампер);

Электрические токи как источник МП – закон Био-Савара;

Представление о МП и МСЛ – Фарадей;

Электромагнитная индукция – Фарадей;

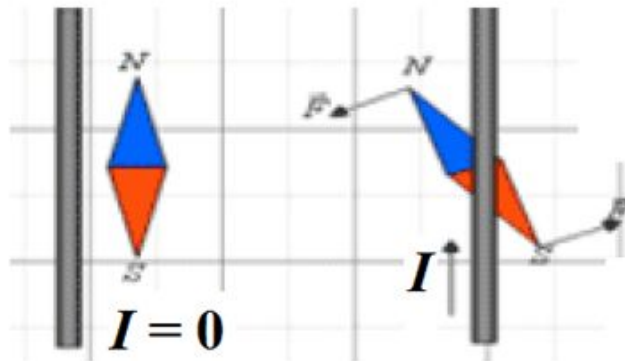
Уравнения электромагнитного поля – Максвелл;

Действие МП на движ. заряды и МП движ. зарядов – Лоренц;

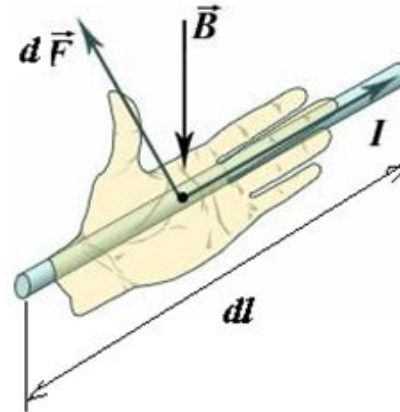
Спин и собственное МП элементарных частиц.

МП – форма материи, посредством которой осуществляется взаимодействие движущихся электрических зарядов.

Сила Ампера



Эрстед



Ампер

$dF \sim I dl \sin\alpha$ - угол с направлением, в кот. $dF = 0$
 К-нт пропорциональности – магнитная индукция B .

$$dF = B I dl \sin\alpha$$

Векторы: \vec{dF} - \perp напр. тока и напр., в кот. $dF = 0$

$I d\vec{l}$ - элемент тока, модуль = $I dl$, направлен по току

\vec{B} - вектор магнитной индукции, модуль = B и напр.,
 в кот. $dF = 0$, так чтобы работало ПЛР