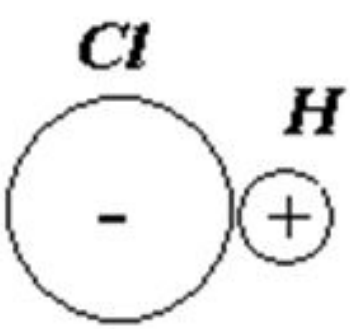
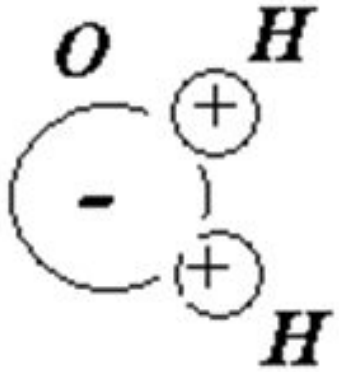
Полярные диэлектрики

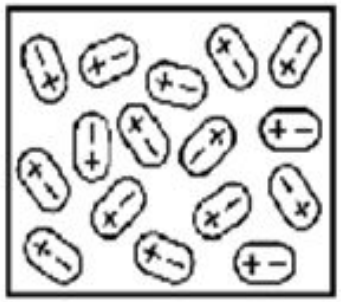
Полярные диэлектрики - дипольная (ориентационная) поляризация, м.б. кристаллическими, жидкими и газообразными. Значения ε до неск. десятков (в жидкостях и кристаллах при комн. температуре). Молекулы полярных диэлектриков имеют собственный (не наведенный) ДМ.

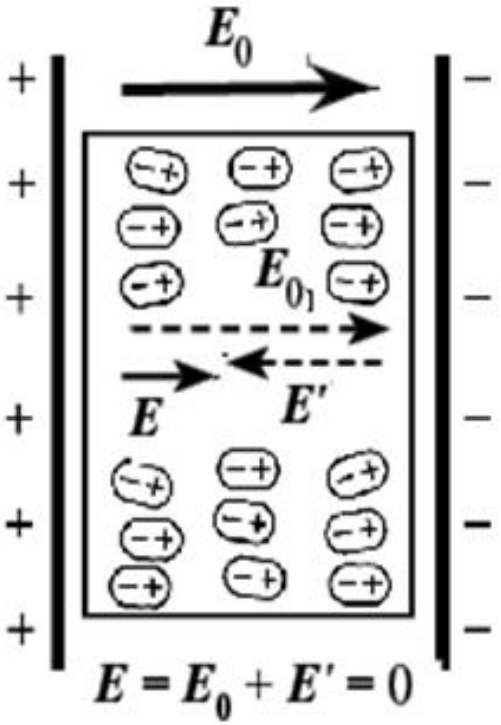




ЭП поворачивает диполи p_0 вдоль линий поля, их ДМ складываются и создают поляризацию вещества.

Полярные диэлектрики (2)





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

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

kT в знаменателе ⇦ тепловое движение нарушает ориентацию диполей вдоль ЭП.

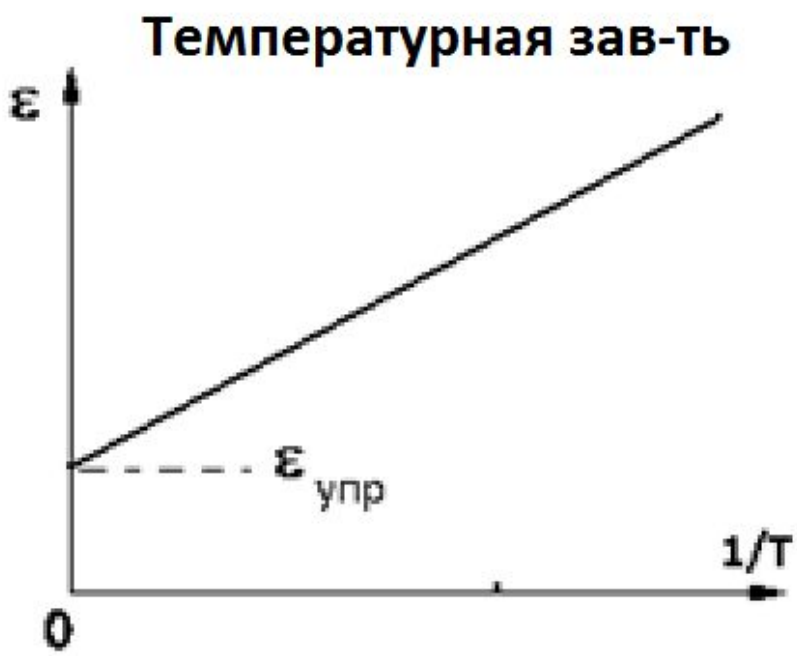
Признаки:

1) $\kappa > 1$ ($\varepsilon = 81$ для воды при комнатной температуре);

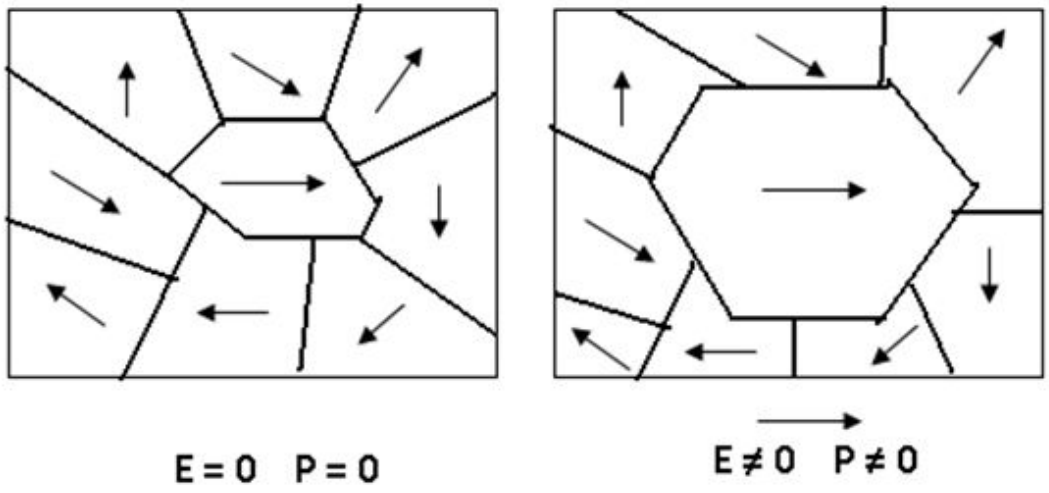
2) ε зависит от частоты - ↓ с ↑ f, т.к. молекулы не успевают развернуться

3) зависит от температуры - ↓ с ↑ t^o

Полярные диэлектрики (3)



Сегнетоэлектрики



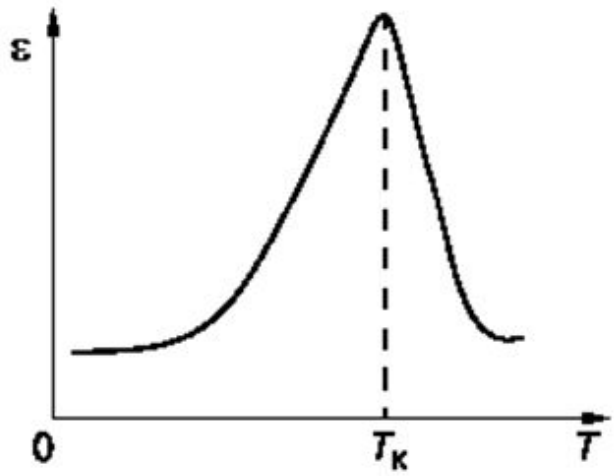
Сегнетоэлектрики (сегнетова соль $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$) – это крист. диэлектрики, в которых есть области (*домены*) *спонтанной поляризации*, которая создается силами хим. связи в кристалле. Домен - часть кристалла (кристаллита в поликристаллах), типичные размеры порядка микрона, а направления ДМ 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.

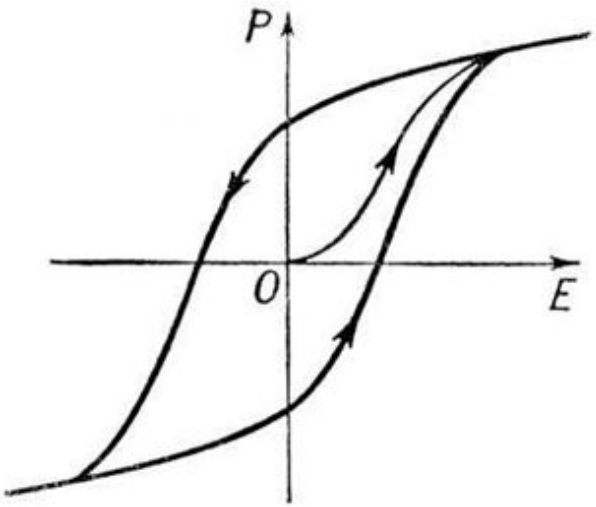
При включении внешнего ЭП происходит поляризация, но не за счет поворота доменов, а за счет перемещения границ между доменами (*доменных стенок*). В результате объем ориентированных вдоль поля доменов растет и появляется суммарный ДМ.

Сегнетоэлектрики (2)

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

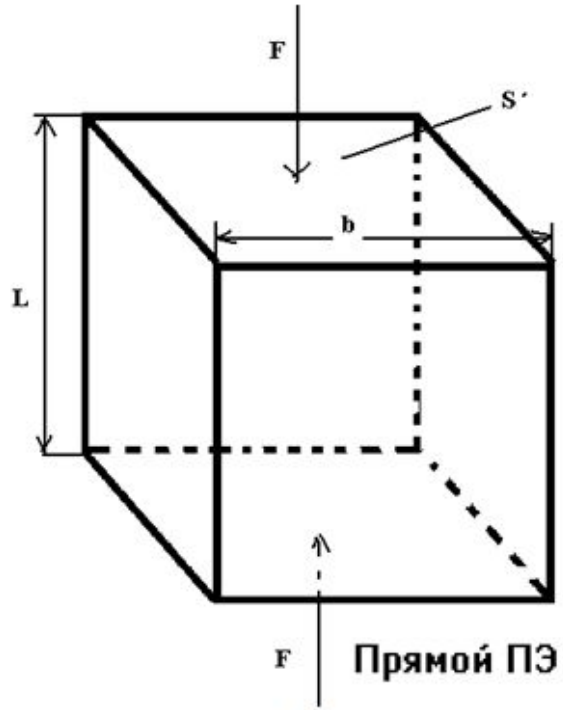


5) поляризованность нелинейно зависит от ЭП и наблюдается гистерезис:



Пьезоэлектрики

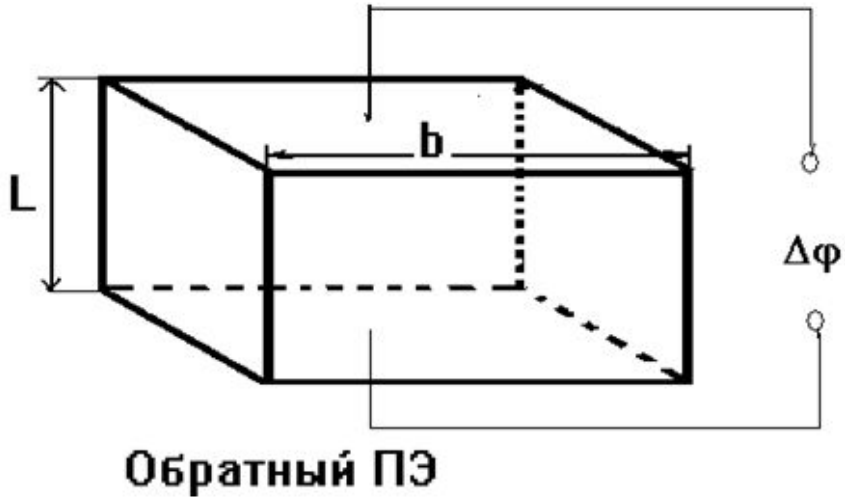
Пьезоэлектрики— кристаллические диэлектрики, в которых наблюдается *пьезоэффект*.



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

$\Delta\varphi = \alpha\,(F/S)\,L$

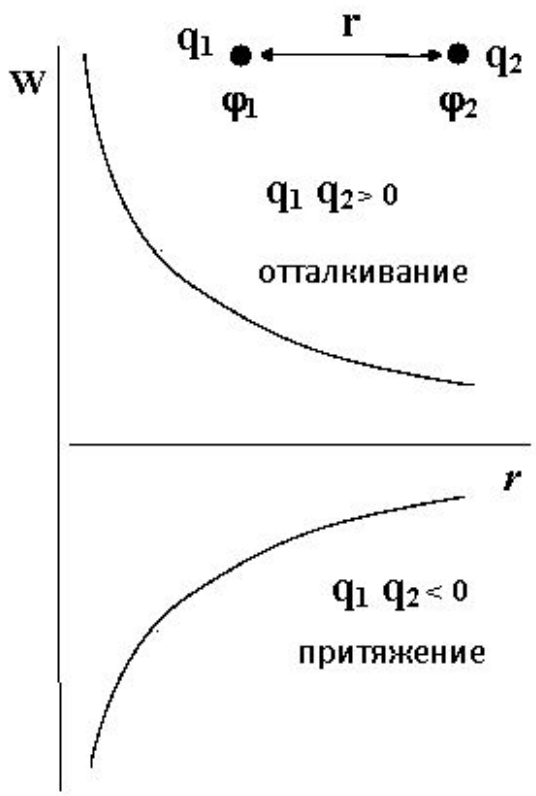
α - пьезомодуль (типичное значение $\alpha \sim 10$ м^2/Кл , что при $(F/S) \sim 10^7$Па и $L \sim 1$ мм $\Rightarrow \Delta\varphi = 10^5$ В).



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

$\Delta L/L = \beta E$ – где β - 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:

$$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i$$

Коэф-нт ½ 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:

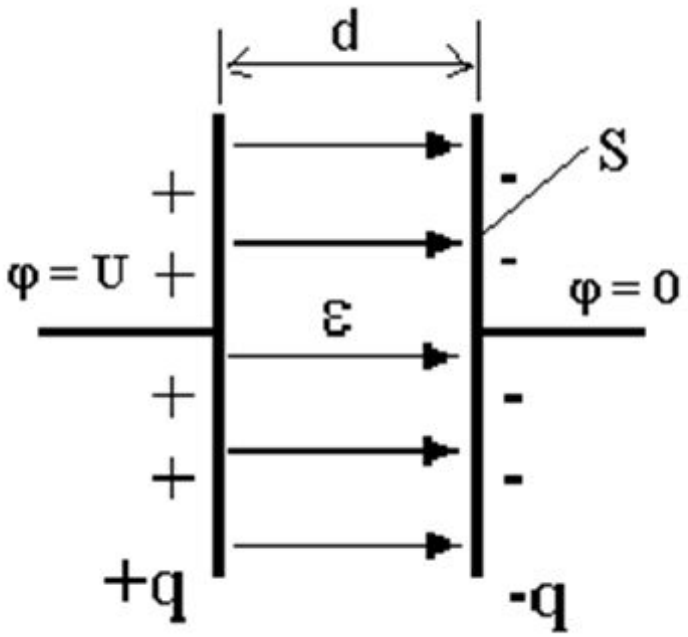
$$W = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i$$

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:

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

Энергия электрического поля



Для простоты ЭП плоского конденсатора.

$W = ½\ q\ U = ½\ C\ U^2$

$C = \varepsilon\ \varepsilon_0 S/d$

$W = ½\ (\varepsilon\ \varepsilon_0 S/d)U^2 = ½\ (\varepsilon\ \varepsilon_0 \underline{Sd})\cdot(\underline{U^2/\ d^2}) =$

$= ½\ \varepsilon\ \varepsilon_0\ E^2\ V$

$W \sim V$ и зависит от свойств диэлектрика. Поэтому энергию кон-ра относят к диэлектрику с *объемной плотностью энергии ЭП* w:

$$W = w\ V$$

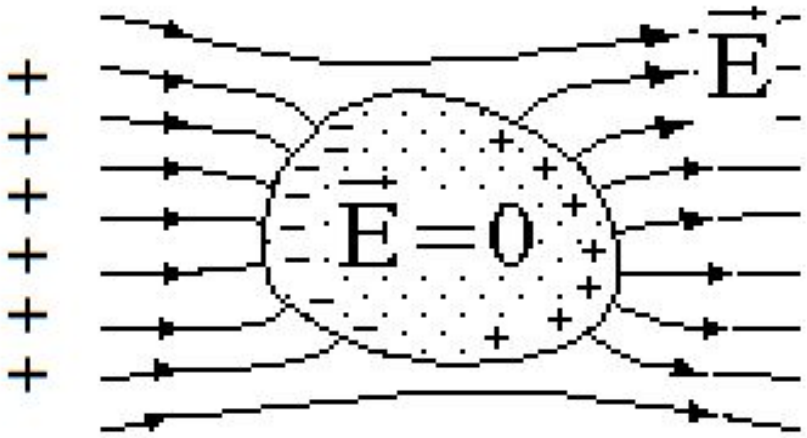
$$w = ½\ \varepsilon\ \varepsilon_0\ E^2 = ½\ D\ E = ½\ D^2/\ \varepsilon\ \varepsilon_0$$

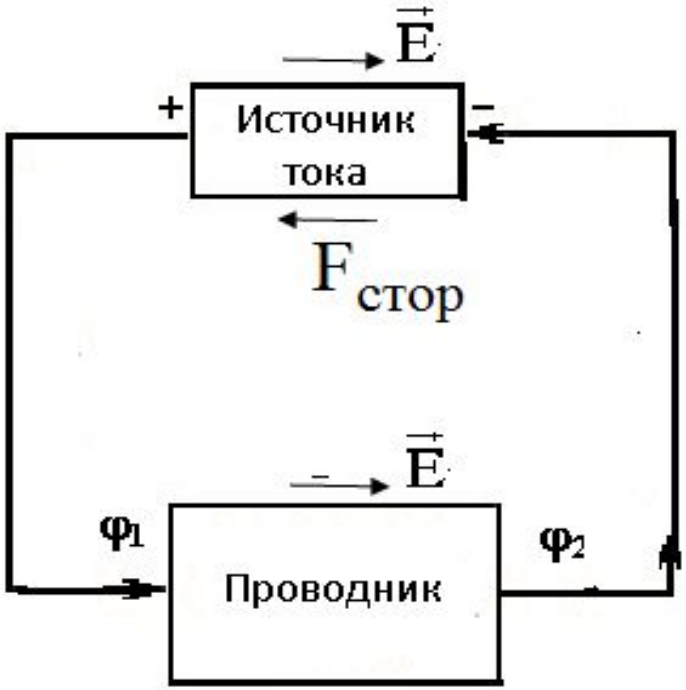
Это выражение для w справедливо для любых электрических полей.

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.

$$I = Q/t$$

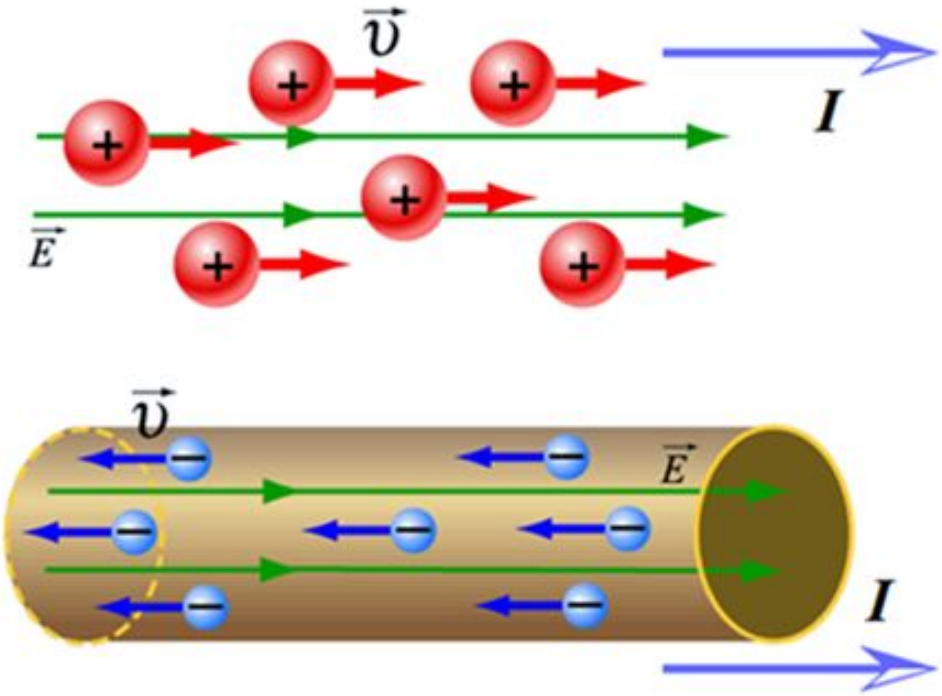
Ед. силы тока – ампер (А) основная в СИ, такая, что Кл = А·с

Направление тока – след. Слайд

Виды токов: 1 – проводимости
2 – конвенционный
3 – диффузионный
4 – смещения

Направление тока

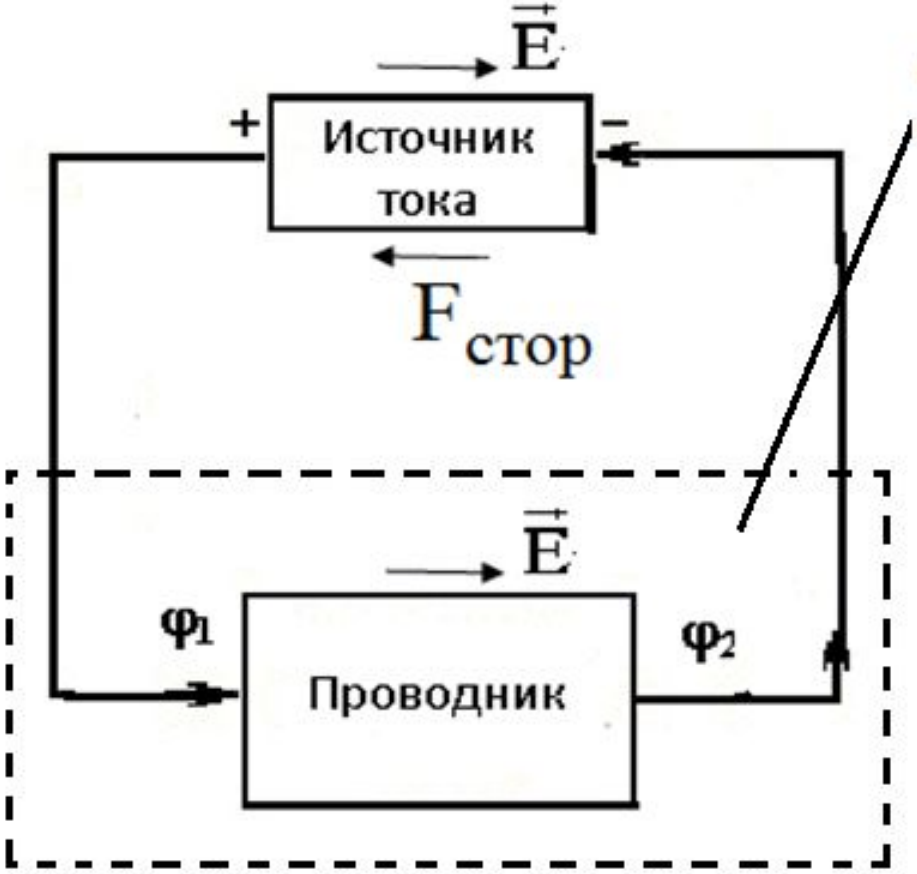
Направленное движение носителей заряда под действием ЭП (дрейф) накладывается на хаотическое тепловое движение.



(+) 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] = Ом = В/А

$R = \rho l / S$ ρ – удельное сопротивление $[\rho]$ = Ом м

Закон Ома - эмпирический

Удельное сопротивление (при КТ)

Удельное сопротивление некоторых веществ, Ом·мм^2/м

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

1 Ом·мм^2/м = 10^{-6} Ом·м

(напр., для меди ρ = 0,017 Ом·мм^2/м = $1.7 \cdot 10^{-8}$ Ом·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 **J**

$U/l = E \Rightarrow$ **E**

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

– закон Ома в векторной и дифференциальной форме.

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

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;

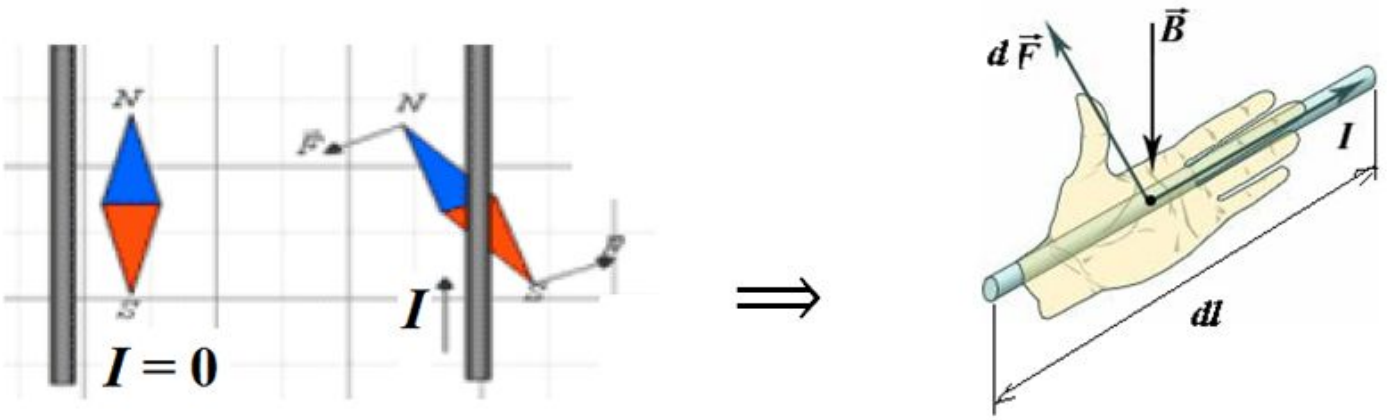
Уравнения электромагнитного поля – Максвелл;

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 ~ I dl sinα - угол с направлением, в кот. dF = 0

К-нт пропорциональности – магнитная индукция B.

dF = B I dl sinα

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

$Id\vec{l}$ - элемент тока, модуль = Idl, направлен по току

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