

Электростатика

Электрический заряд — это физическая величина, определяющая силу электромагнитного воздействия между объектами природы

Элементарный электрический заряд — заряд электрона (по модулю)



Закон сохранения электрического заряда:

в замкнутой системе тел алгебраическая сумма зарядов остается неизменной при любых процессах, происходящих с этими телами

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = const$$

Точечный заряд — это заряженное тело, размеры которого много меньше других размеров, характерных для данной задачи

Закон Кулона: сила взаимодействия двух неподвижных точечных зарядов в вакууме прямо пропорциональна произведению абсолютных величин зарядов 1 и 2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними

$$F_{Кул} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

ϵ_0 — электрическая постоянная

$$F_{Кул} = k \cdot \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

ϵ — диэлектрическая проницаемость среды

Электрическое поле — векторное поле, существующее вокруг тел или частиц, обладающих электрическим зарядом, а также возникающее при изменении магнитного поля

Однородное электрическое поле — такое поле в данной области пространства, в котором вектор напряженности поля одинаков в каждой точке области

Напряженность электрического поля — силовая характеристика электрического поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{эл}}{q}$$

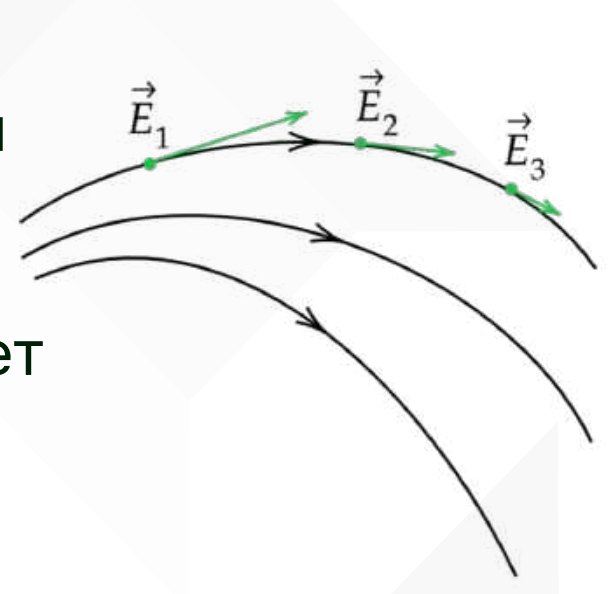
$F_{эл}$ — сила с которой поле действует на пробный заряд (берётся с учётом знака)

Напряженность электростатического поля точечного заряда $q_{созд}$ в точке, удаленной на расстояние r от заряда $q_{созд}$:

$$E = \frac{k|q_{созд}|}{r^2}$$

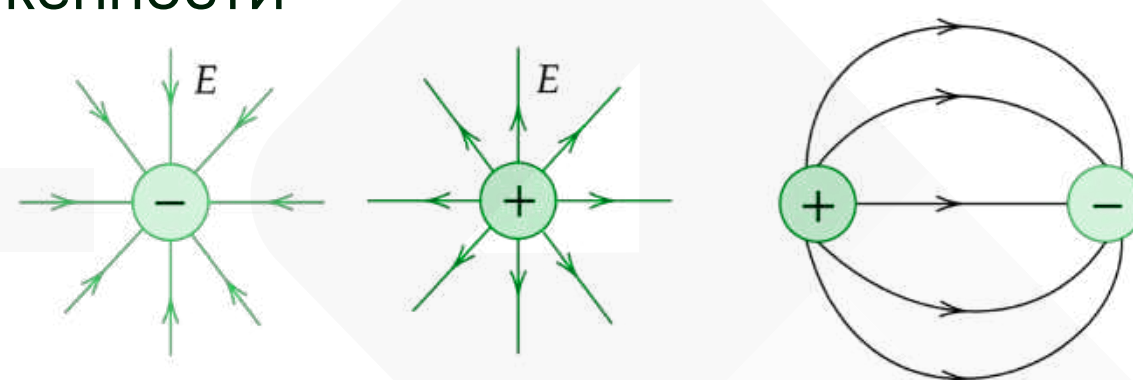
Сила электрическая: $\vec{F}_{эл} = q\vec{E}$

Силовые линии: в каждой точке вектор напряженности направлен по касательной к силовой линии. Густота силовых линий характеризует напряженность электрического поля: чем гуще силовые линии, тем больше напряженность



Линии напряженности всегда начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных.

Если частица положительна, электрическая сила сонаправлена с вектором напряженности. Если частица отрицательна, электрическая сила противоположно направлена вектору напряженности



Принцип суперпозиции полей

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

Потенциал электрического поля численно равен работе поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки электрического поля в бесконечность; является энергетической характеристикой электростатического поля

$$\varphi = \frac{W_{пот}}{q}$$

$W_{пот}$ — потенциальная энергия электрического заряда

q — величина заряда

За точку отсчета потенциала выбирают в зависимости от задачи: потенциал Земли; потенциал бесконечно удаленной точки поля; потенциал отрицательной пластины конденсатора

Суперпозиция потенциалов

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

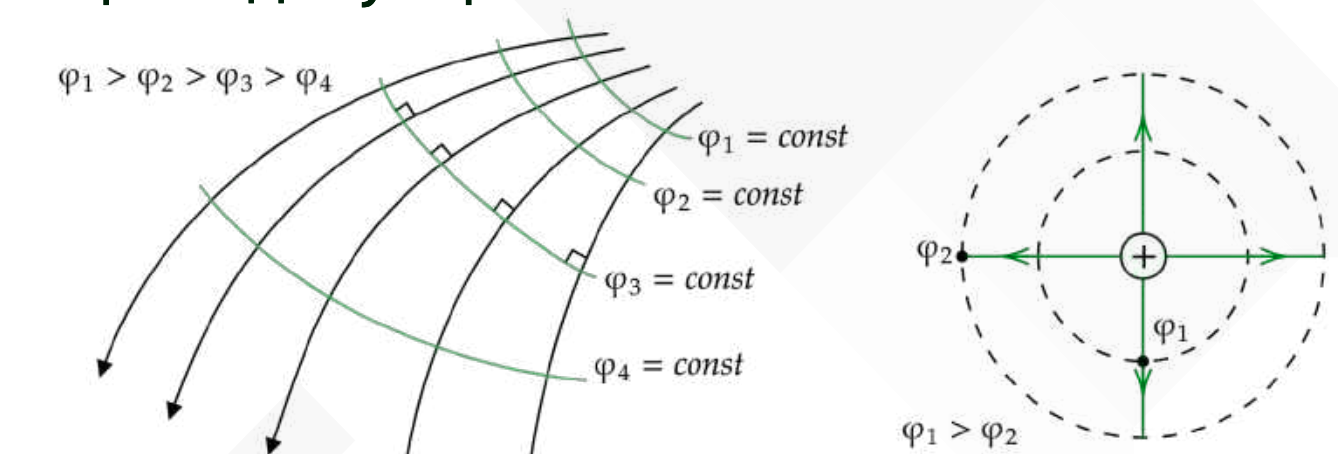
Работа сил электростатического поля при перемещении заряда из одной точки поля в другую не зависит от формы траектории, а определяется только положением начальной и конечной точек и величиной заряда

Работа сил электростатического поля при перемещении заряда по любой замкнутой траектории равна нулю

Работа поля по перемещению электрического заряда

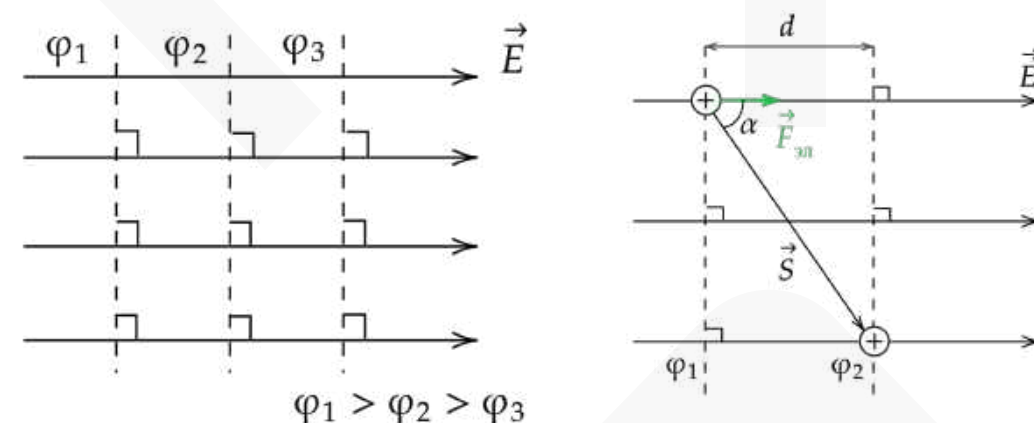
$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$$

Эквипотенциальная поверхность — поверхность, во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения. Эквипотенциальные поверхности перпендикулярны силовым линиям



- работа при перемещении заряда вдоль эквипотенциальной поверхности не совершается;
- вектор напряженности перпендикулярен к эквипотенциальной поверхности в каждой ее точке.

Эквипотенциальные поверхности для однородного электр. поля



Силовые линии направлены в сторону уменьшений потенциала

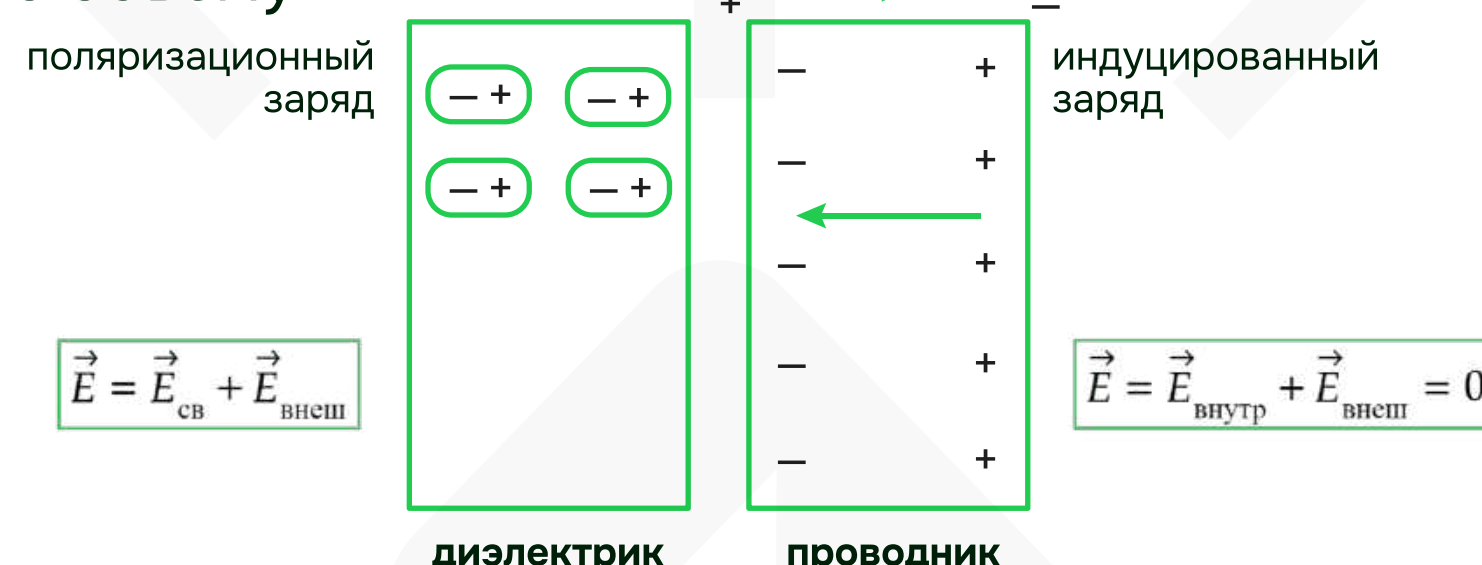
Связь напряжения и напряженности электр. поля

$$U = Ed$$

Диэлектрики — тела, в которых практически отсутствуют свободные заряды, но содержатся связанные заряды. Диэлектрик уменьшает электрическое поле

Диэлектрическая проницаемость $\epsilon = \frac{E_{вак}}{E_{диэл}}$

Проводники — тела, имеющие свободные заряды, которые способны под действием внешнего электрического поля E перемещаться по всему его объему



Электричество

Связь ёмкости, заряда, напряжённости:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U}$$

[Ф] — фарад

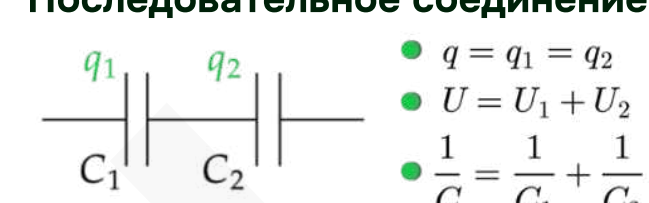
Ёмкость конденсатора:

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

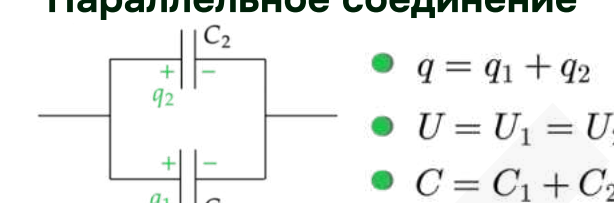
d — расстояние между пластинами

S — площадь пластины

Последовательное соединение



Параллельное соединение



Энергия заряженного конденсатора

$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2}$$

Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц, при котором происходит перенос заряда из одних областей пространства в другие

Сила тока

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

[I] = А (ампер)

Сопротивление

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

[R] = Ом

Напряжение

$$U = \frac{A_{эл}}{q}$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

[U] = В (вольт)

ρ — удельное сопротивление

S — площадь поперечного сечения проводника

l — длина проводника

Измерение силы тока и напряжения:

Для измерения силы тока используется **амперметр**. Подключается в цепь последовательно

Для измерения напряжения используется **вольтметр**. Подключается в цепь параллельно

Закон Ома для однородного участка цепи

$$I = \frac{U}{R}$$

Электродвижущая сила (ЭДС) — работа сторонних сил по перемещению заряда

$$\mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

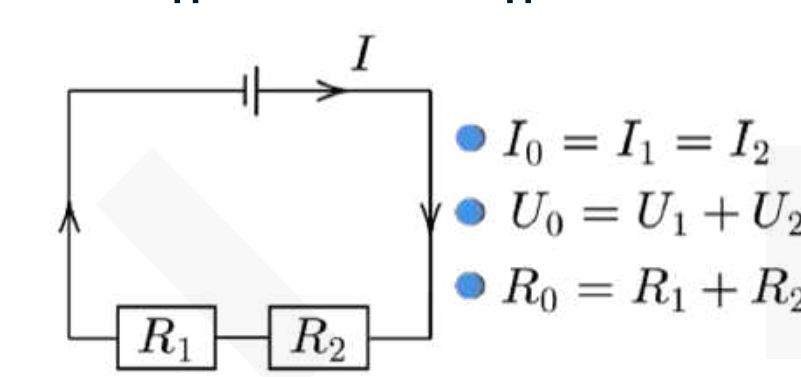
Закон Ома для полной цепи

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

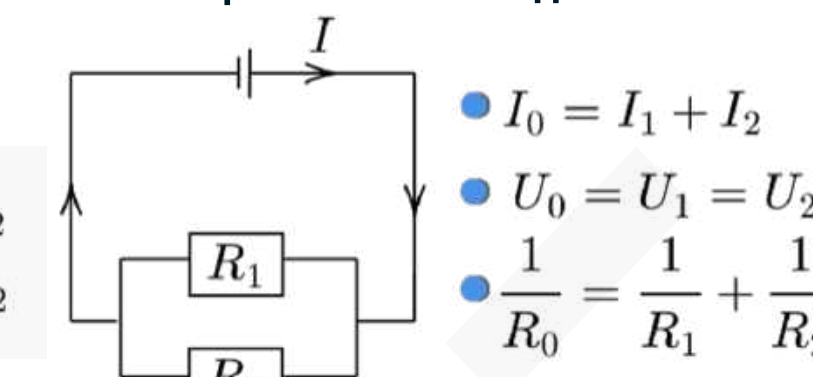
Напряжение на источнике

$$U_{ист} = \mathcal{E} - Ir$$

Последовательное соединение



Параллельное соединение



Мощность тока

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

[P] = Вт

Работа тока

$$A = U\Delta q = UI\Delta t$$

[A] = Дж

Закон Джоуля-Ленца: при протекании заряда через участок эл. цепи электрическим полем совершается работа, которая в свою очередь превращается в количество теплоты, выделяемое на резисторе

$$Q = A$$

$$Q = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t = UI t$$

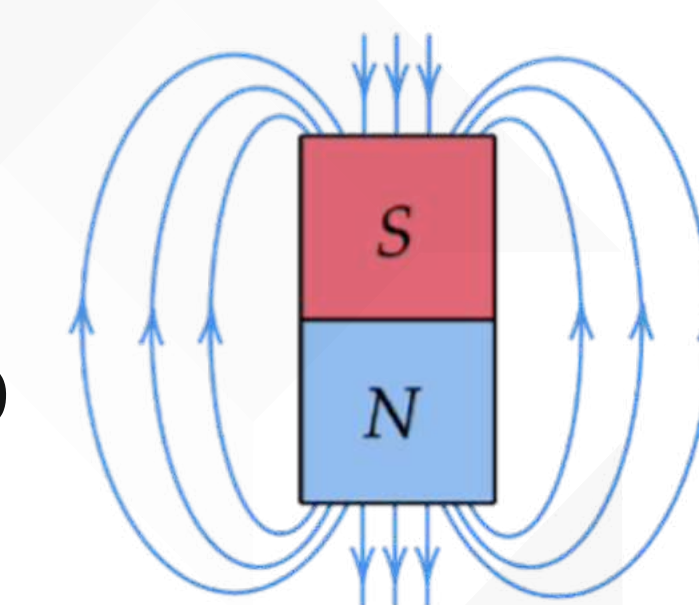
Магнитное поле

- магнитное поле взаимодействует с движущимися зарядами: если заряд один — силой Лоренца, если проводник с током — силой Ампера
- силовые линии магнитного поля всегда замкнуты и не имеют ни начала, ни конца

Источники и индикаторы магнитного поля:

- движущиеся заряженные частицы (положительные и отрицательные);
- проводник с током (т.к. ток — это упорядоченное движение заряженных частиц);
- постоянный магнит.

ШКОЛКОВО



Правила буравчика (винта)

Если направление поступательного движения буравчика (винта) совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции поля, создаваемого этим током

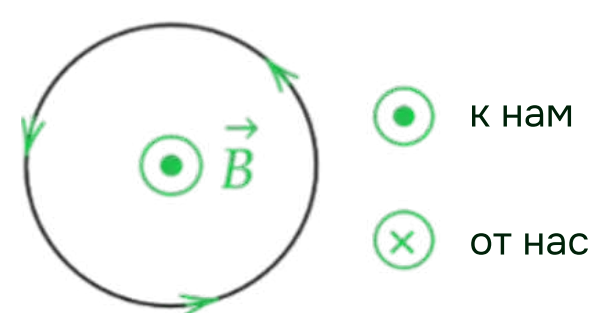
Правила правой руки

Если направление поступательного движения буравчика (винта) совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции поля, создаваемого этим током

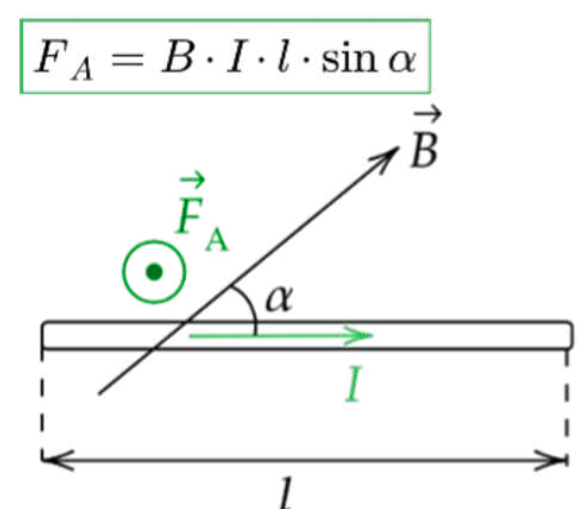


Для замкнутого проводника с током

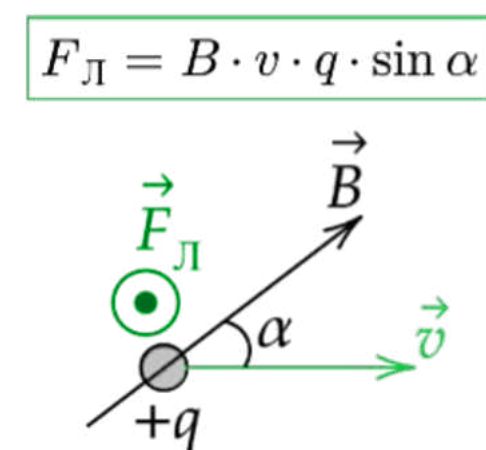
Если обхватить правой рукой контур, то отогнутый на 90 градусов большой палец покажет направление вектора магнитной индукции



Сила Ампера действует на проводник с током **Правило левой руки**



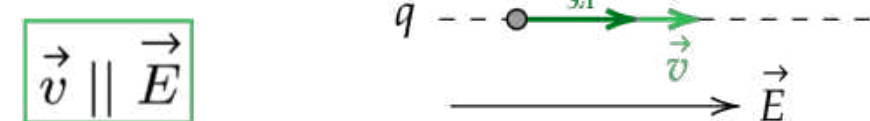
Сила Лоренца действует на заряд



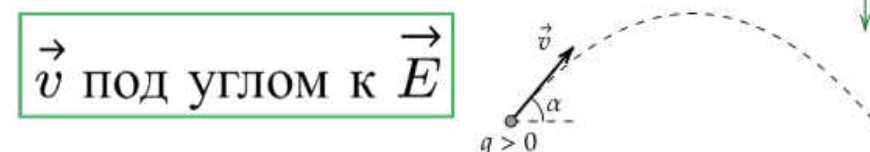
Правило левой руки



Если частица влетает параллельно вектору напряжённости, будет двигаться равноускоренно по прямой



Если частица влетает под углом к вектору напряжённости, будет двигаться равноускоренно по параболе.



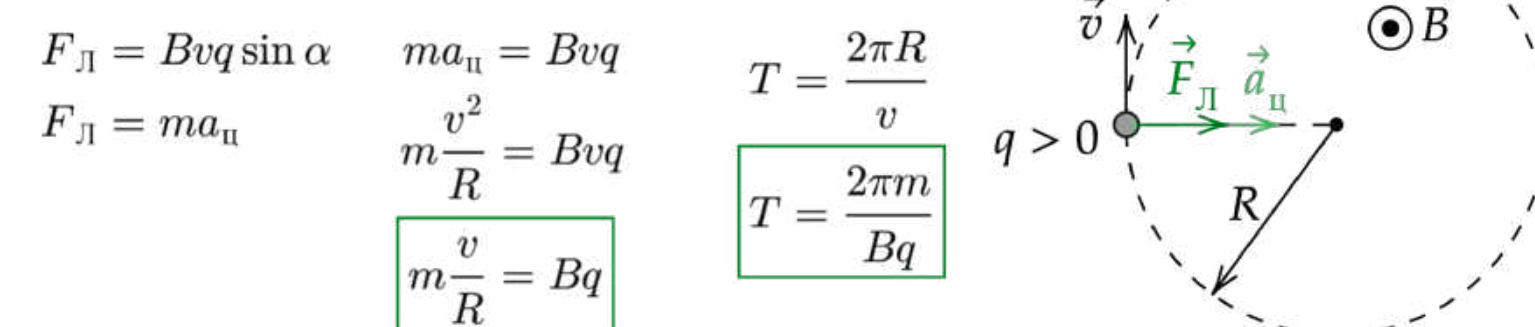
Если частица влетает параллельно вектору магнитной индукции, будет двигаться равноускоренно по прямой



ШКОЛКОВО

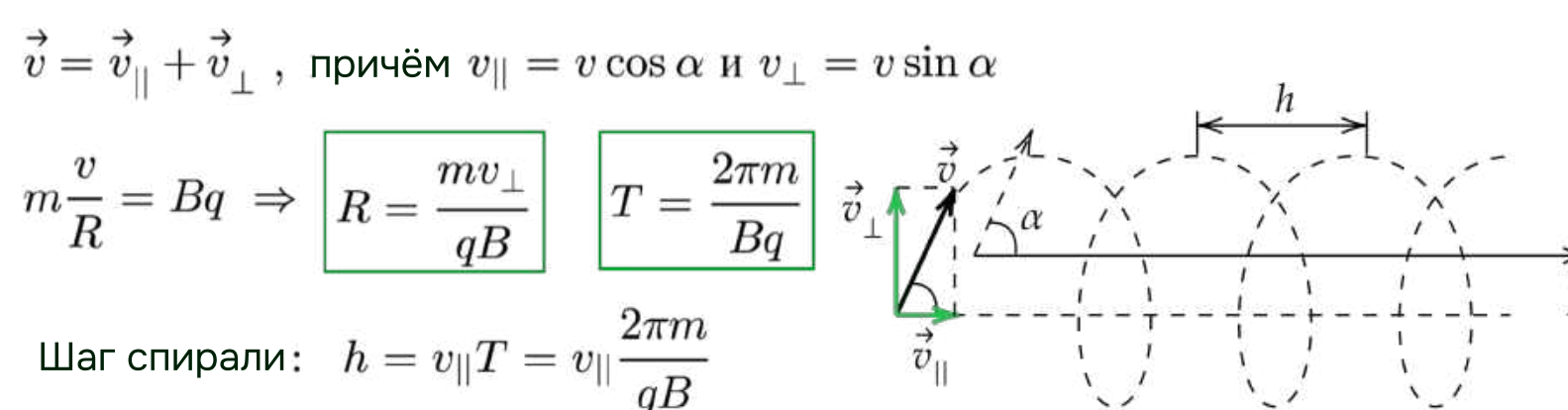
$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

Если частица влетает перпендикулярно вектору магнитной индукции, будет двигаться равномерно по окружности



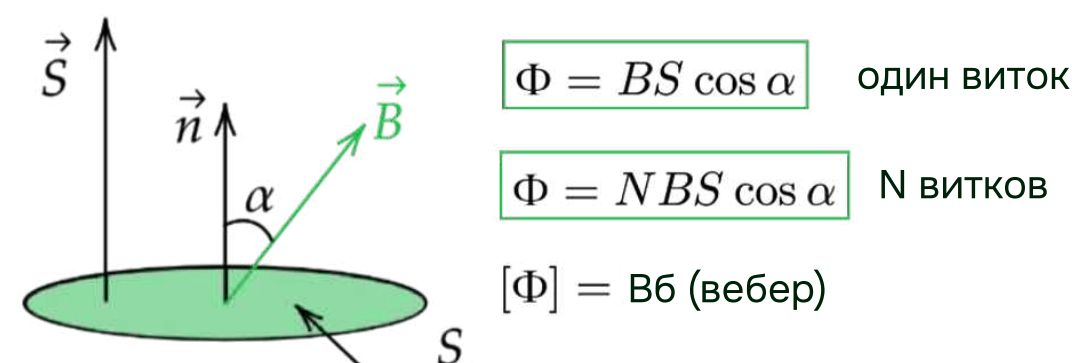
$$\vec{v} \text{ под углом к } \vec{B}$$

Если частица влетает под углом к вектору магнитной индукции, будет двигаться по спирали



Электромагнитная индукция

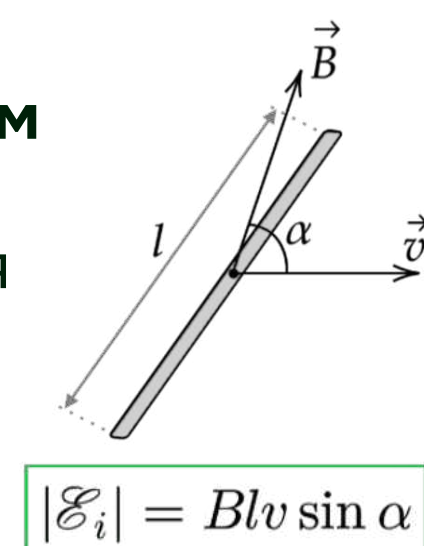
Магнитный поток через замкнутый контур



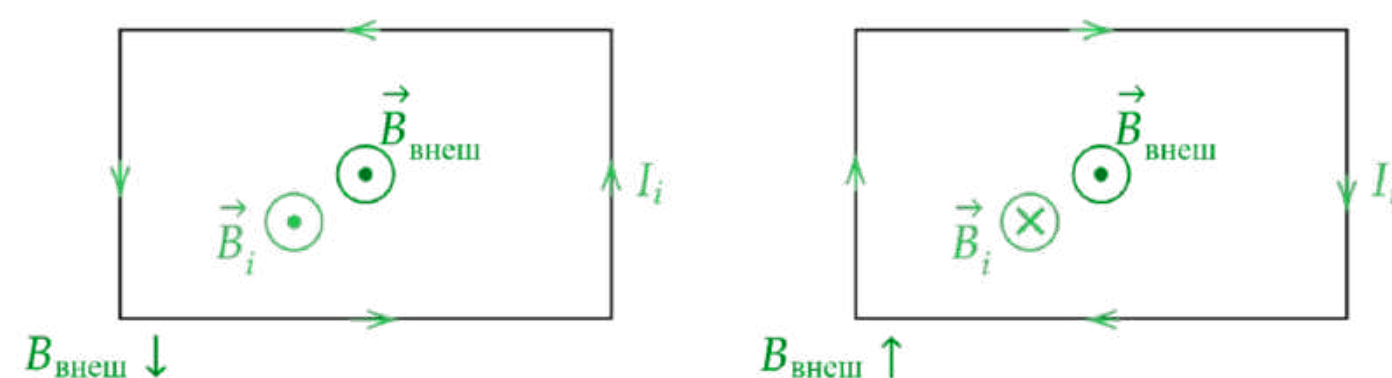
Закон Фарадея (закон э-м индукции): ЭДС индукции в замкнутом контуре равно по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad [\text{В}] \quad \mathcal{E}_i = -\Phi'(t) \quad [\text{В}]$$

Движение проводника в магнитном поле: ЭДС индукции в прямом проводнике длиной l, движущимся со скоростью, перпендикулярной к проводнику, в однородном магнитном поле



Правило Ленца: индукционный ток имеет такое направление, при котором его собственное магнитное поле противодействует изменению магнитного потока, вызвавшему этот индукционный ток



ШКОЛКОВО

Самоиндукция и катушка индуктивности

- ток не меняется скачком
- при установившемся режиме сила тока в катушке постоянна, то есть при данном режиме катушку можно рассматривать как провод



$$\text{Индуктивность: } L = \frac{\Phi}{I}, \text{ или } \Phi = LI$$

ЭДС самоиндукции:

$$\mathcal{E}_{Si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}, \Delta t \rightarrow 0 \quad \mathcal{E}_{Si} = -LI'(t)$$

Напряжение в катушке индуктивности:

$$U_L = -\mathcal{E}_{Si}$$

Энергия, запасенная в катушке индуктивности:

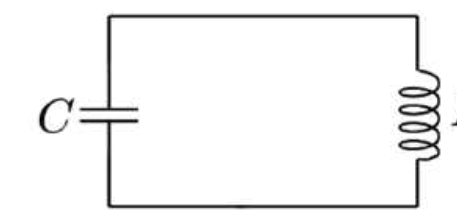
$$W_L = \frac{LI^2}{2}$$

ШКОЛКОВО

Идеальный колебательный контур – электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности и конденсатор

Свободные э-м колебания в идеальном колебательном контуре:

$$q = q_{max} \sin(\omega t + \varphi_0) \quad I = q_{max} \omega \cos(\omega t + \varphi_0) = I_{max} \cos(\omega t + \varphi_0)$$



Формула Томсона для периода и собственная частота колебаний контура

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Связь амплитуды заряда конденсатора при свободных э-м колебаниях и в идеальном колебательном контуре:

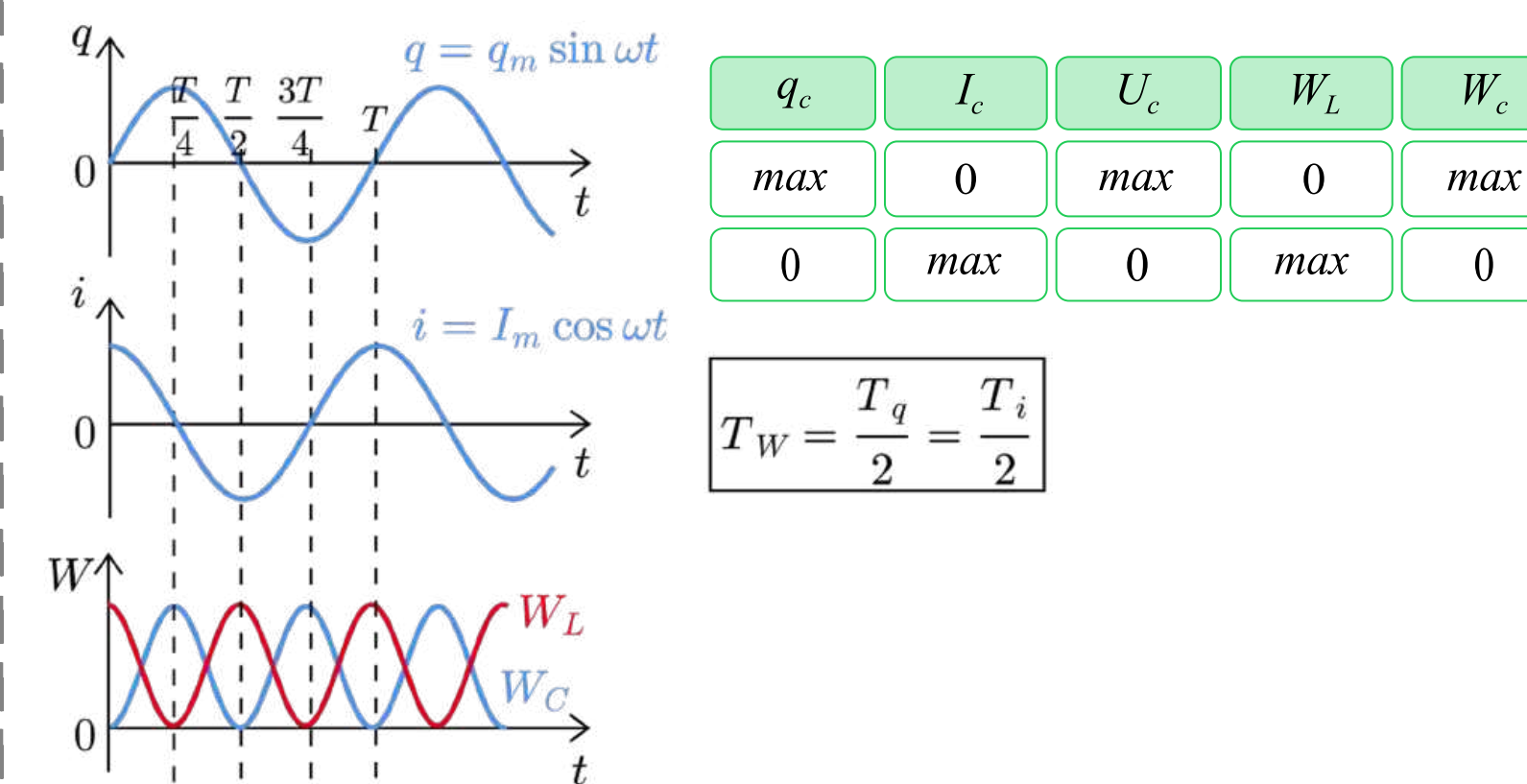
$$q_{max} = \frac{I_{max}}{\omega}$$

ШКОЛКОВО

Энергия в электрической цепи

Закон сохранения энергии в идеальном к.к

$$W_C + W_L = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_{max}^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2} = const$$



Закон сохранения энергии в электрической цепи

Сумма работ источника тока и механических сил равна сумме изменения энергии в цепи и количества теплоты, выделяемого в цепи

$$A_{ист} + A_{мех} = \Delta W + Q$$

Энергия эл. цепи – суммарная энергия всех конденсаторов и катушек индуктивности.

$$W = W_C + W_L$$

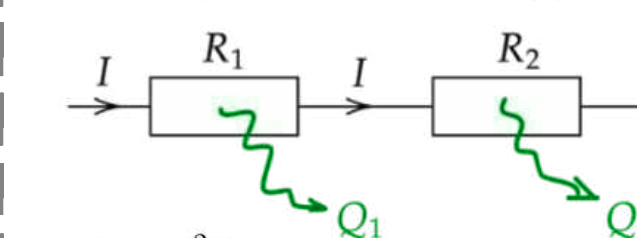
Работа источника: $A_{ист} = \mathcal{E} \Delta q_{ист}$

Если **положительный** заряд протекал по направлению действия сторонних сил этого источника, то источник совершил положительную работу.

Если **положительный** заряд протекал по направлению противоположному действию сторонних сил этого источника, то источник совершил отрицательную работу.

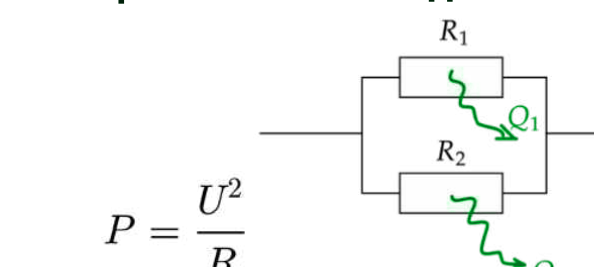
Тепловая мощность

Последовательное соединение



$$P = I^2 R \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Параллельное соединение



$$P = \frac{U^2}{R} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Общее количество теплоты

$$Q_{общ} = Q_1 + Q_2$$

ШКОЛКОВО