

Магнитное поле

Явление электромагнитной индукции.

Закон электромагнитной индукции

Фарадея.

Правило Ленца.

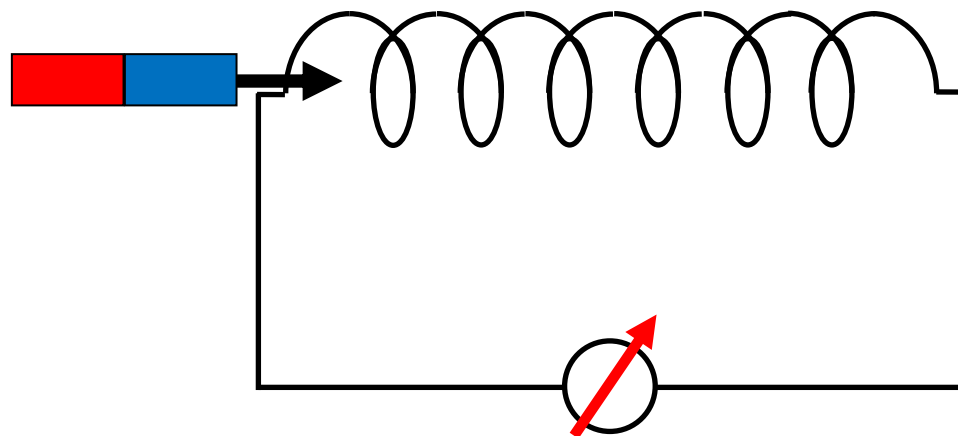
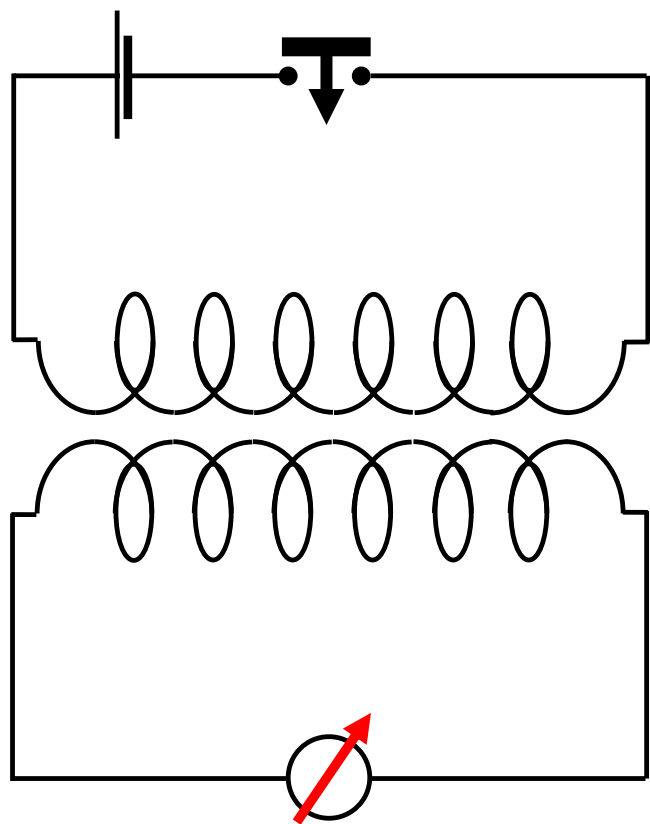
Вихревое электрическое поле.

Токи Фуко.

Генератор, электродвигатель.

Явление электромагнитной индукции

В 1820 г. Эрстед экспериментально установил, что электрический ток вызывает отклонение магнитной стрелки. Если электрический ток порождает магнетизм, то не существует ли обратное явление? Фарадей сформулировал для себя задачу: «Превратить магнетизм в электричество». В 1831 г. задача была решена.



Закон Фарадея

Возникновение электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, сцепленного с контуром, называется электромагнитной индукцией. Возникающий ток называется индукционным. Явление не зависит от способа изменения потока вектора магнитной индукции.

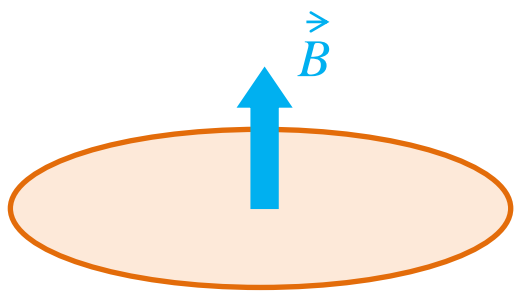
ЭДС электромагнитной индукции в замкнутом проводящем контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную контуром.

$$\varepsilon \sim \frac{d\Phi}{dt}$$

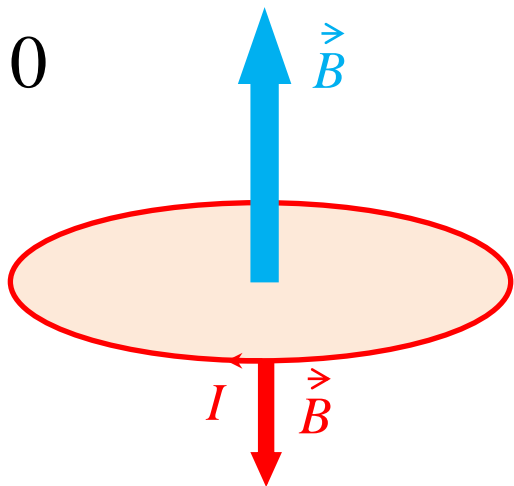
Правило Ленца

Ленц установил правило нахождения направления тока: индукционный ток направлен так, что магнитное поле этого тока препятствует изменению магнитного потока, вызывающего индукционный ток.

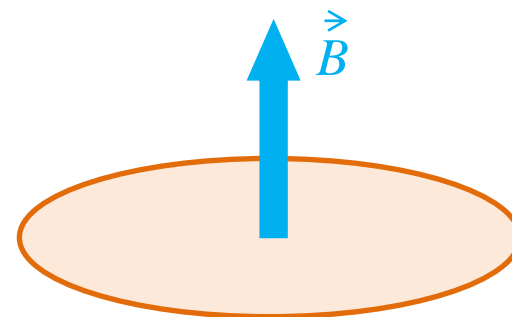
Внешнее поле возрастает



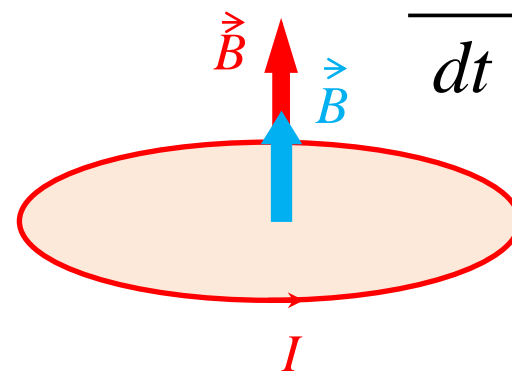
$$\frac{d\Phi}{dt} > 0$$



Внешнее поле убывает



$$\frac{d\Phi}{dt} < 0$$



Основной закон электромагнитной индукции. Закон Фарадея – Ленца.

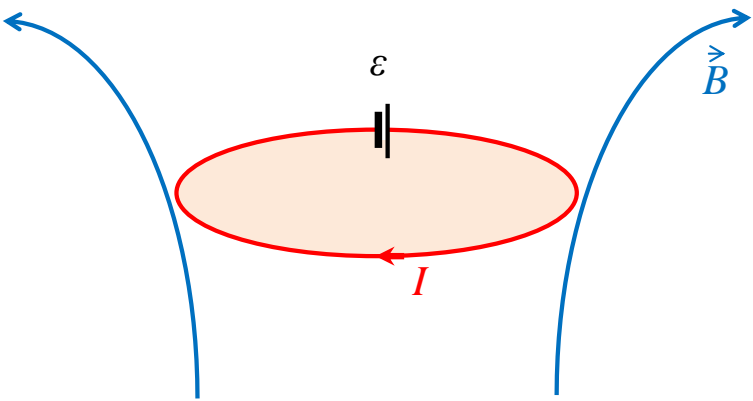
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

ЭДС электромагнитной индукции в замкнутом проводящем контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока сквозь поверхность, ограниченную контуром.

$$\left[\frac{Вб}{с} \right] = \left[\frac{Тл \cdot м^2}{с} \right] = \left[\frac{Н \cdot м \cdot м^2}{А \cdot м^2 \cdot с} \right] = \left[\frac{Н \cdot м}{А \cdot с} \right] = \left[\frac{Дж}{Кл} \right] = [В].$$

Метод Гельмгольца

Гельмгольц вывел основной закон электромагнитной индукции, исходя из закона сохранения энергии.



$$dA_a = Id\Phi$$

работа силы Ампера.

$$dA_q = I^2 R dt$$

работа, совершаемая током в электрической цепи (джоулево тепло).

$$dA_g = \varepsilon I dt$$

работа, совершаемая гальваническим элементом.

$$dA_g = dA_q + dA_a$$

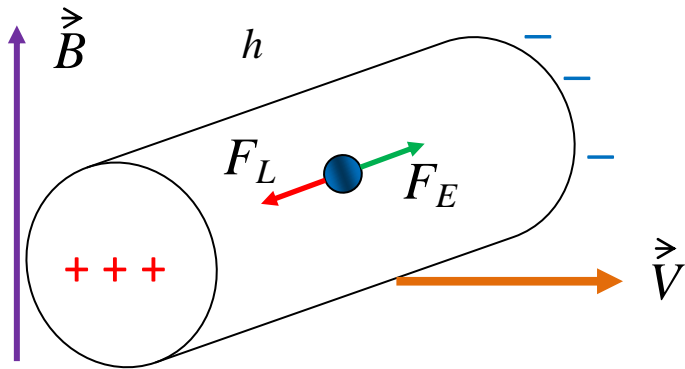
$$\varepsilon I dt = I^2 R dt + Id\Phi$$

$$\varepsilon = IR + \frac{d\Phi}{dt}$$

$$I = \frac{\varepsilon + \varepsilon_i}{R}$$

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Движение проводника в магнитном поле



Сила Лоренца перераспределяет заряды в проводнике, движущемся в магнитном поле. На концах такого проводника появляются индуцированные заряды. Эти заряды создают электрическое поле, и, следовательно, между концами проводника возникает разность потенциалов.

$$F_L = qVB$$

$$F_E = qE = q \frac{\Delta\varphi}{h}$$

$$F_E = F_L$$

$$\Delta\varphi = VBh$$

$$V = \frac{dx}{dt}$$

$$S = hx$$

$$\Phi = BS$$

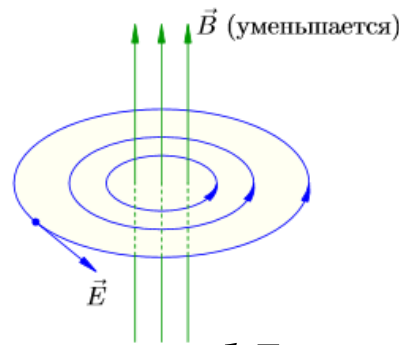
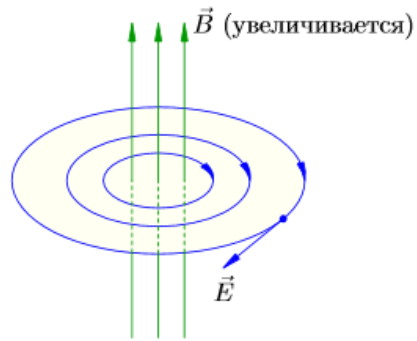
$$\varepsilon = -\Delta\varphi$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Вихревое электрическое поле

Возникновение электромагнитной индукции в движущемся проводнике можно объяснить силой Лоренца, но электромагнитная индукция возникает и в неподвижном проводнике в том случае, если изменяется магнитное поле. Какова причина возникновения индукционного тока?

Гипотеза Максвелла: изменяющееся магнитное поле порождает вихревое электрическое поле, под действием которого возникает индукционный ток в замкнутом проводнике.



$$\varepsilon = \oint (\vec{E}, d\vec{l})$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt}$$

$$\oint (\vec{E}, d\vec{l}) = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Вихревое электрическое поле отличается от электростатического поля. Линии вихревого поля замкнуты, тогда как линии электростатического поля начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных. Вихревое поле, в отличие от электростатического, не является потенциальным. Работа вихревого электрического поля по перемещению заряда по замкнутому контуру не равна нулю.

Токи Фуко

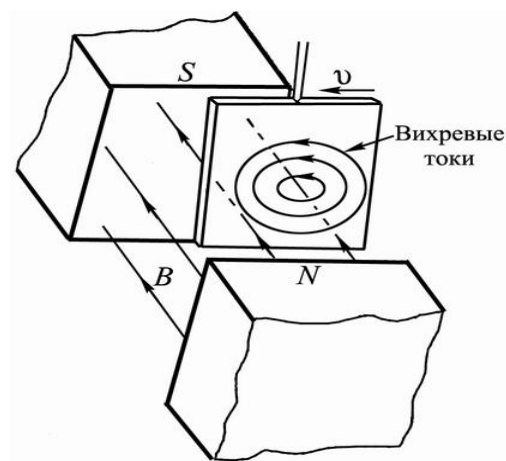
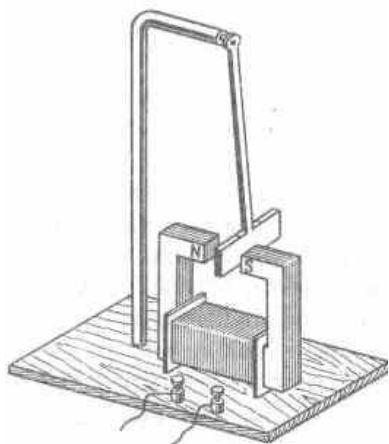
Индукционные токи возбуждаются и в массивных проводниках. Эти токи вихревые, то есть замкнуты. Их называют **токами Фуко**. Токи Фуко могут достигать большой силы, поскольку электрическое сопротивление массивного проводника мало.

Джоулево тепло токов Фуко используется в индукционных плавильных печах. Нагрев проводника не всегда желателен. Для уменьшения токов Фуко сердечники трансформаторов делают из отдельных пластин, перпендикулярных токам Фуко.



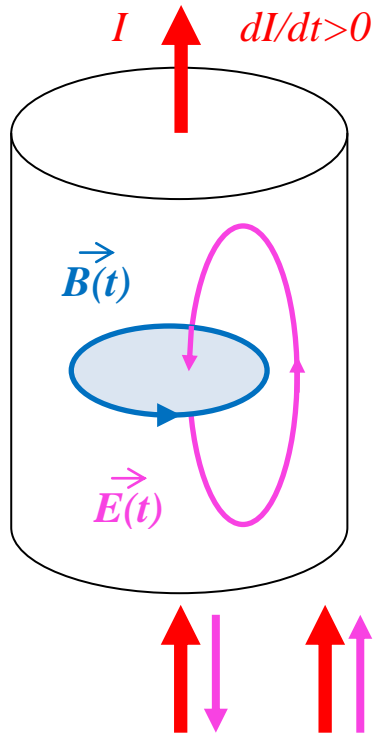
Токи Фуко

Токи Фуко подчиняются правилу Ленца. Их магнитное поле направлено так, чтобы противодействовать изменению магнитного поля, индуцирующего вихревые токи. Поэтому движущиеся в сильном магнитном поле массивные проводники испытывают торможение, обусловленное взаимодействием токов Фуко с магнитным полем. Это используют для демпфирования (успокоения) подвижных частей различных приборов и механизмов.



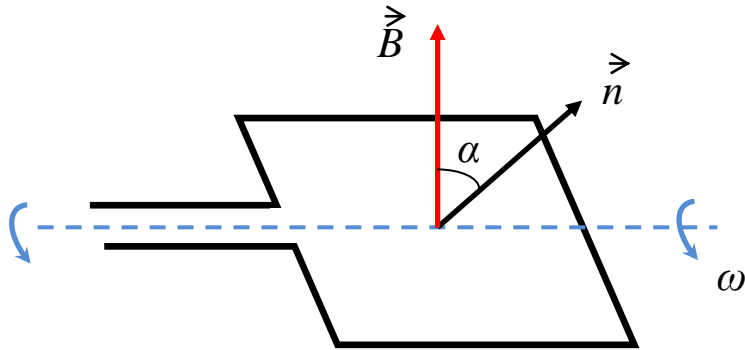
В толстой пластине при движении возникают токи Фуко, которые взаимодействуют с полем магнитов. Поле этих токов направлено противоположно внешнему полю. Поэтому пластина будет отталкиваться (затормаживаться).

Скин-эффект



Вследствие возникновения вихревых токов высокочастотный ток вытесняется на поверхность проводника. Этот эффект носит название скин-эффекта. Высокочастотные провода делают полыми.

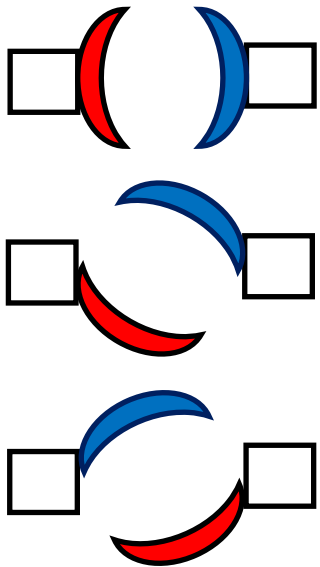
Вращение рамки в магнитном поле



$$\Phi = BS \cos \alpha$$

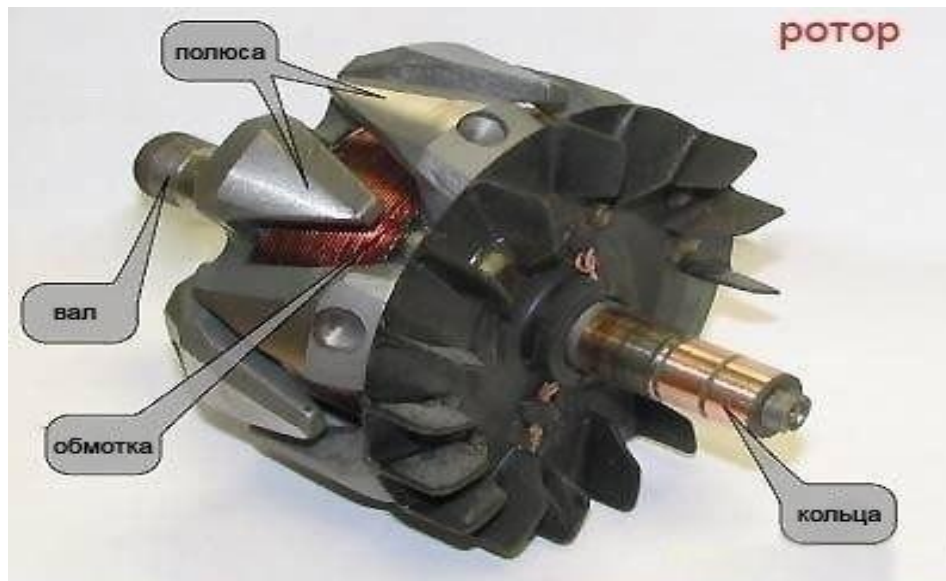
$$\alpha = \omega t$$

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin \omega t$$

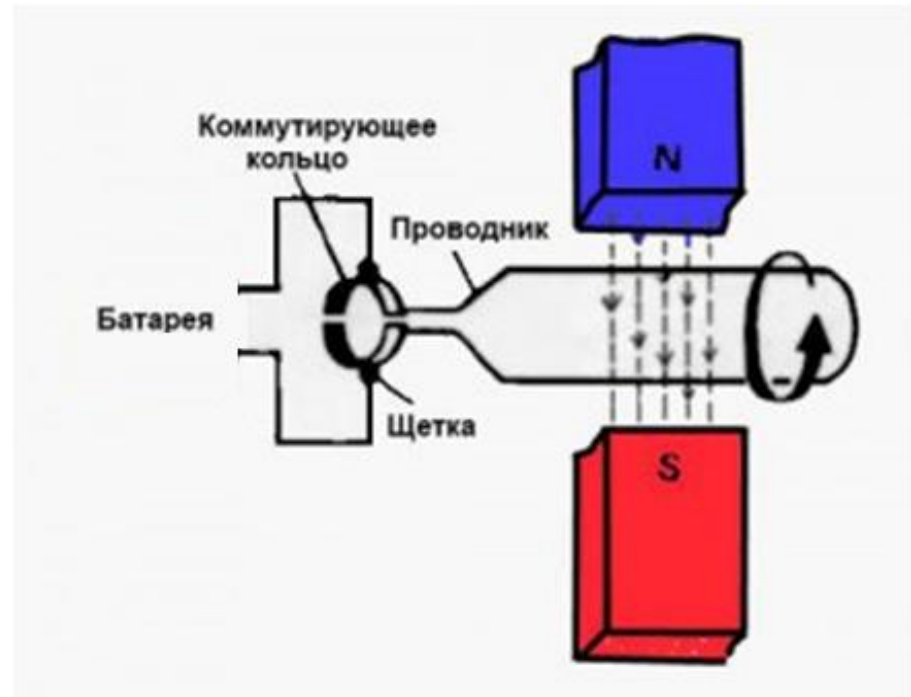
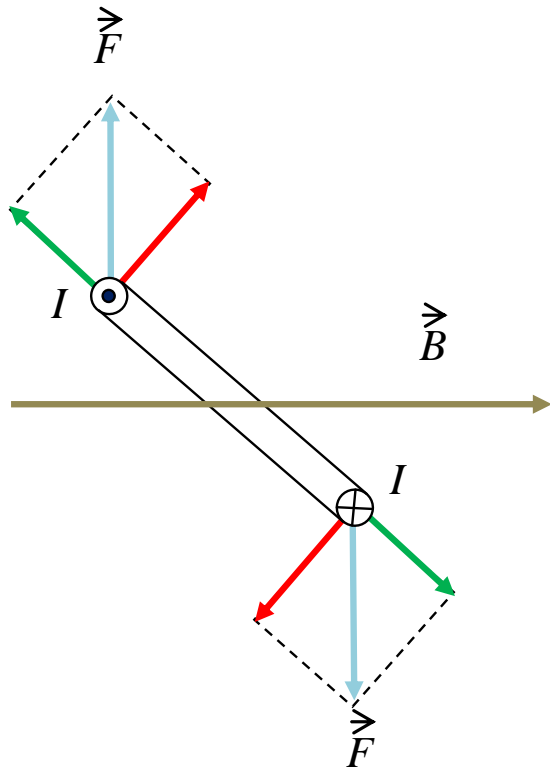


Щетки — контакт, который позволяет снять напряжение с движущегося электрода.

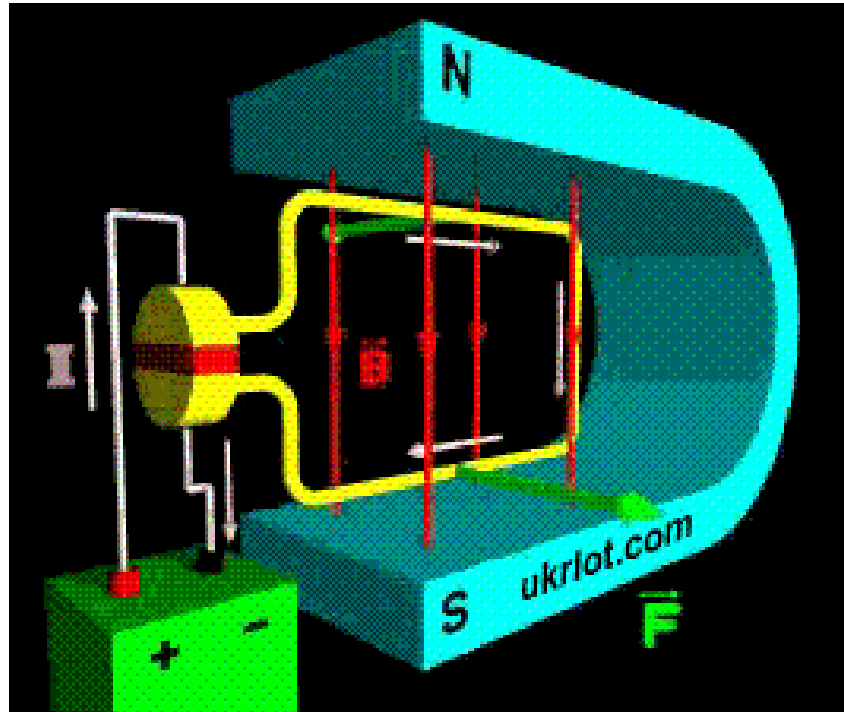
Вращение рамки в магнитном поле



Принцип работы электродвигателя



Принцип работы электродвигателя



Картинка кликабельна