

ЕЛЕКТРОМАГНИТНА ИНДУКЦИЯ

Лектор: проф. д-р Т. Йовчева

Опитът на Ханс Оерстед, 1820г.

Електричният ток, протичащ по проводник, създава магнитно поле.

Електричеството може да бъде източник на магнетизъм.

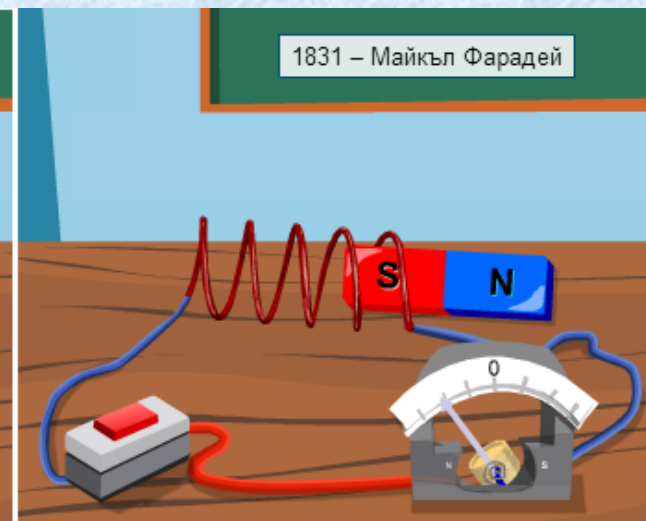
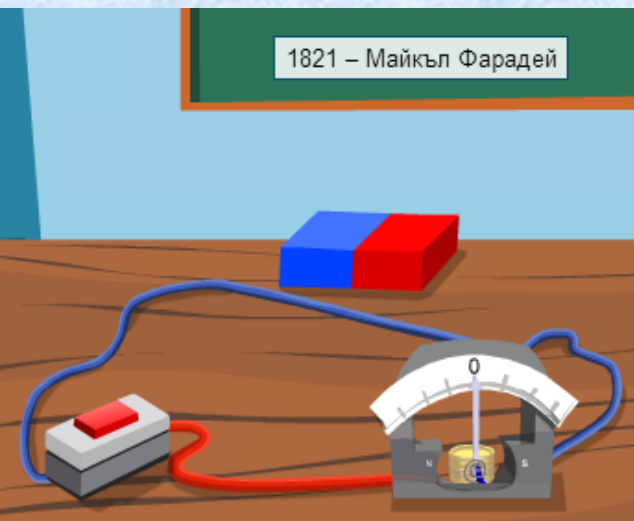


*Може ли магнетизмът да бъде
източник на електричество?*

Опити на Майкъл Фарадей, 1831г.

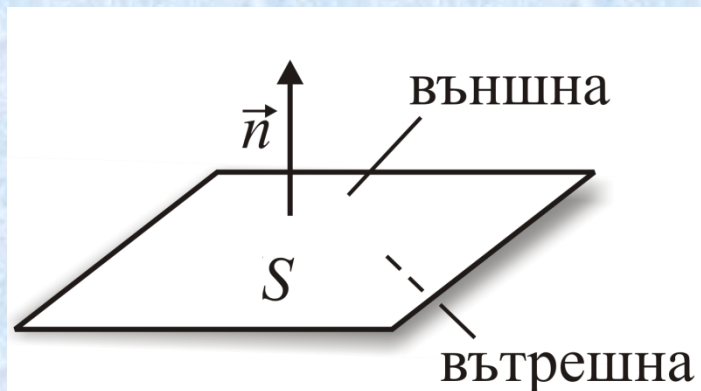
Магнитното поле при определени условия предизвиква протичане на електричен ток.

Доказва се „единството на природните сили”

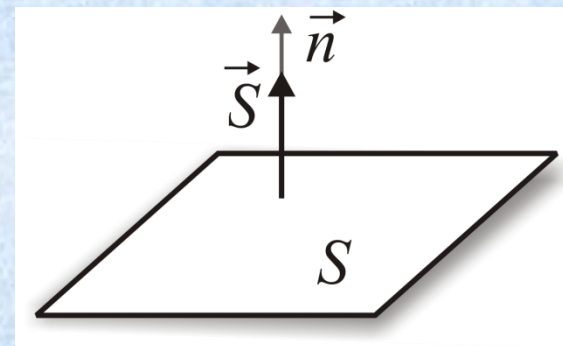


Магнитен поток

Ориентирана повърхност



Лицев вектор $\vec{S} = S \vec{n}$

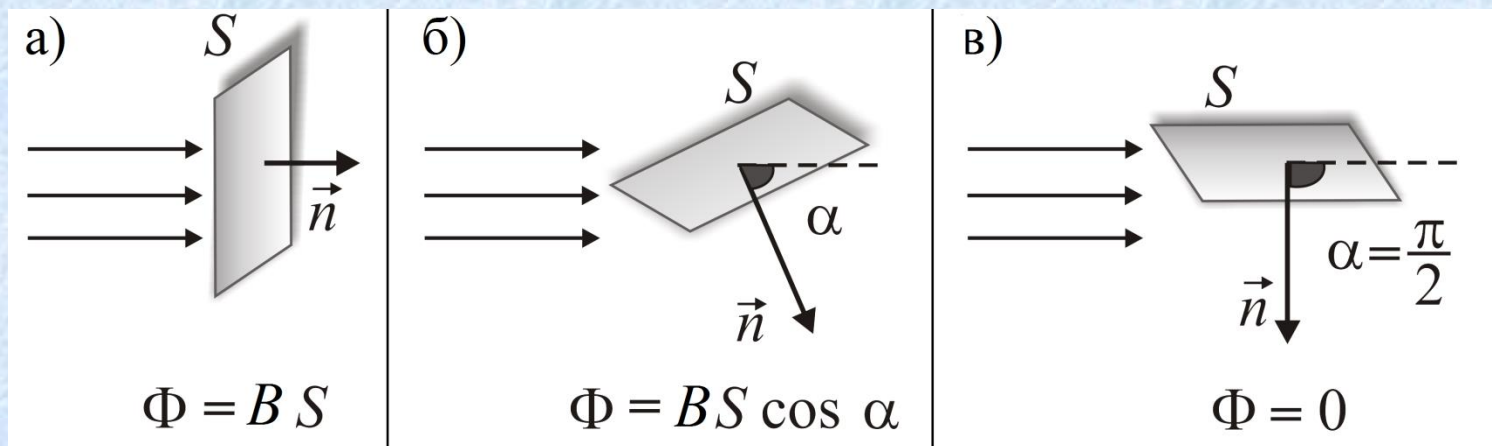


Магнитният поток през площ S се дефинира като скалярно произведение на векторите $\vec{B}$ и $\vec{S}$:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos(\vec{B}, \vec{S}).$$

Магнитният поток може да има положителна или отрицателна стойност.

Магнитният поток Φ зависи от ориентацията на повърхността



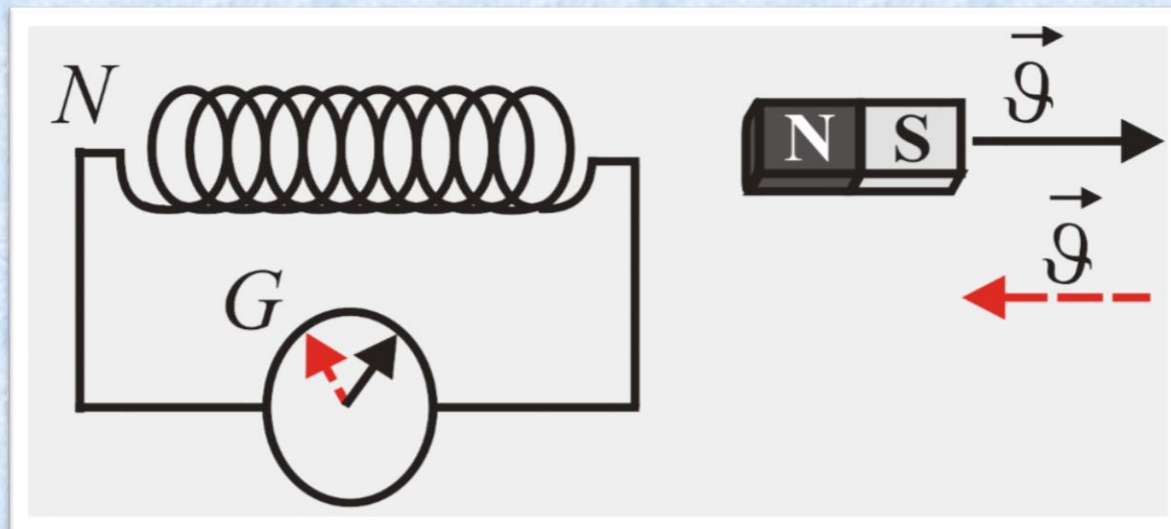
Магнитният поток Φ през повърхност S е пропорционален на броя на индукционните линии, които я пробождат.

Мерна единицата за магнитен поток - Вебер (Wb)

Един вебер (1Wb) е потокът на хомогенно магнитно поле с индукция $B = 1\text{T}$ през повърхност с площ $S = 1\text{m}^2$, поставена перпендикулярно на индукционните линии.

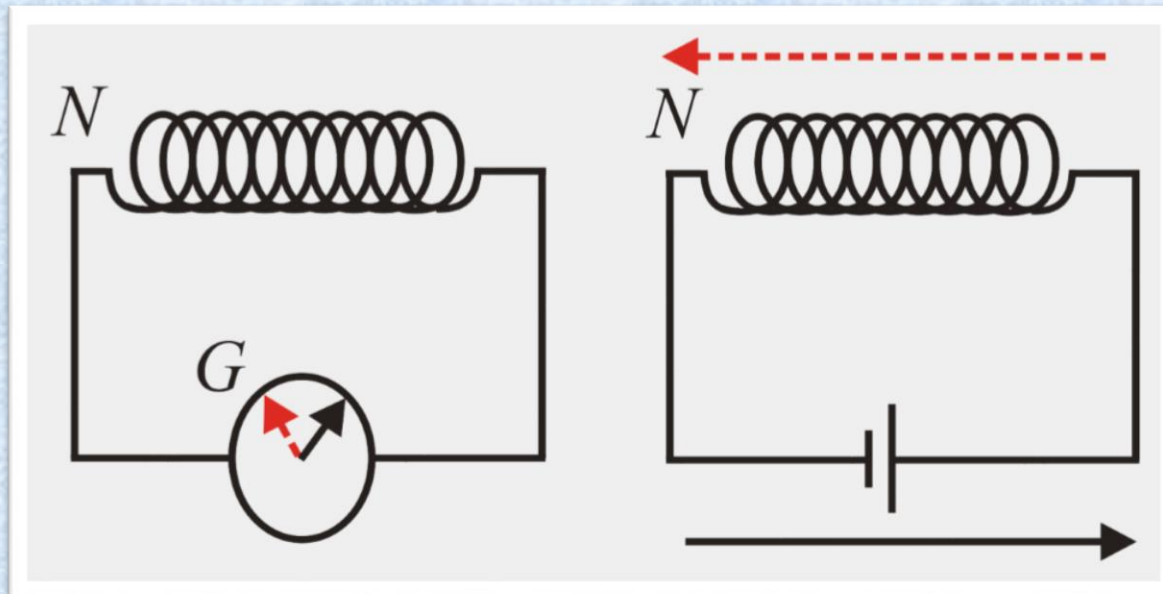
Първи опит

- Ако към намотката във веригата бързо се приближава или отдалечава постоянен магнит, то в нея ще протече краткотраен електричен ток – индуциран ток.
- Отклонението на стрелката е толкова по-голямо, колкото по-голяма е скоростта на движение на магнита спрямо намотката.



Втори опит

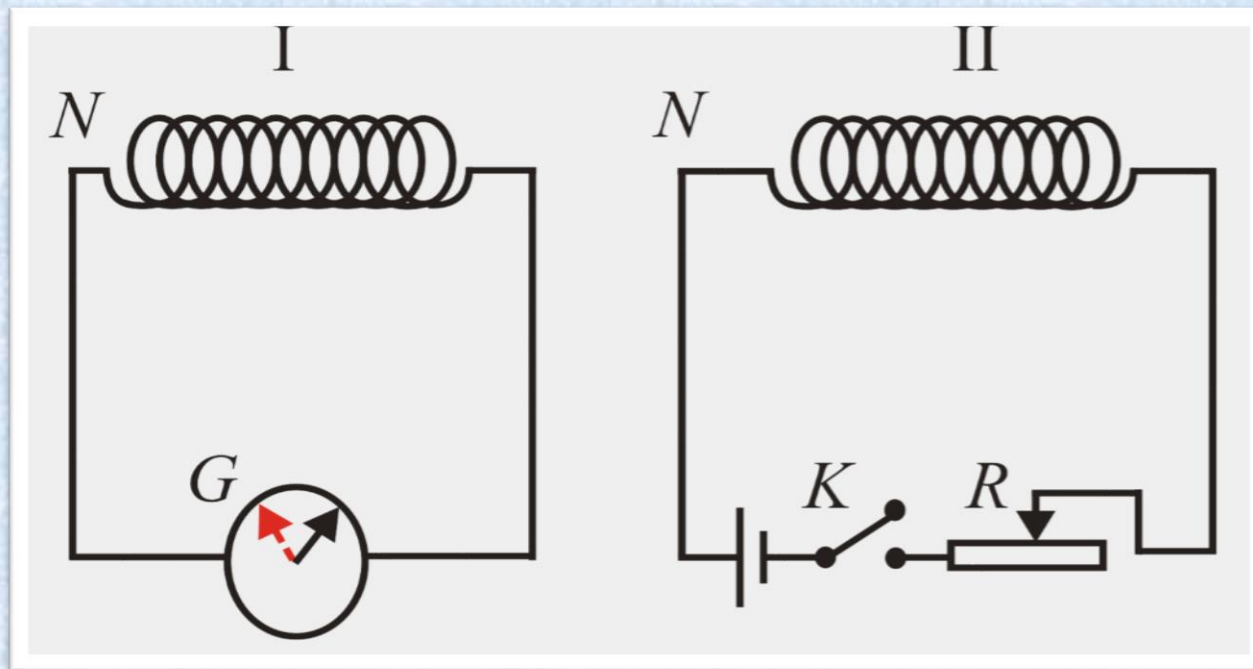
- Постоянният магнит се заменя с електромагнит - втора намотка, по която тече електричен ток.
- Относителното движение на двете намотки една спрямо друга предизвикват протичане на индуциран ток.



Трети опит

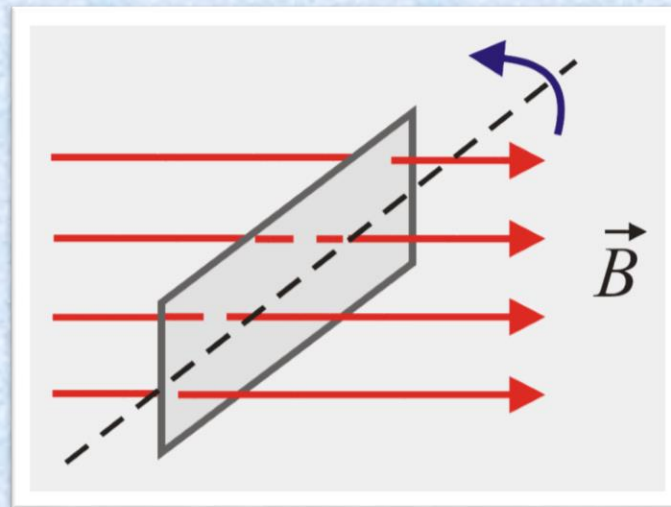
Индуциран ток протича, ако:

- се включва или изключва ключът K на втората намотка (II);
- се намалява или увеличава токът във втората намотка (II), чрез реостата R при затворен ключ K .
- При по-голяма скорост на изменение на R , отклонението на галванометъра G е по-голямо.



Четвърти опит

- При равномерно въртене на рамка в магнитно поле се индуцира електродвижещо напрежение (ЕДН), което се изменя по хармоничен закон.
- Индуцираният ток се дължи на изменящия се поток на магнитната индукция.



Закон на Фарадей

Всяка промяна на магнитния поток с времето през площта на даден затворен неподвижен проводник (контур) е свързана с възникването в проводника на индуциран електричен ток (индуцирано електродвижещо напрежение):

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

$\Delta\Phi$ е изменението на магнитния поток за интервал от време Δt .
Знакът „минус“ показва, че

- при нарастване на магнитния поток, индуцираното ЕДН е отрицателно, т.е. полето на индуцирания ток е насочено противоположно на създаващото го поле;
- при намаляване на магнитния поток, индуцираното ЕДН е положително, т.е. полето на индуцирания ток е насочено по посока на създаващото го поле.

- Индуцираният ток I_i в намотка със съпротивление R и индуцираното електродвижещо напрежение $\mathcal{E}_i$ са свързани със закона на Ом:

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = -\frac{1}{R} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Силата на индуцирания ток се увеличава, ако:

- се увеличи скоростта, с която магнитът се приближава или отдалечава от намотката;
- се използва по-силен магнит;
- намотката има повече навивки.

- Ако магнитната индукция B и площта S , затворена от проводниковия контур не се променят, то

$$\mathcal{E}_i = -\frac{SB\Delta \cos \alpha}{\Delta t}$$

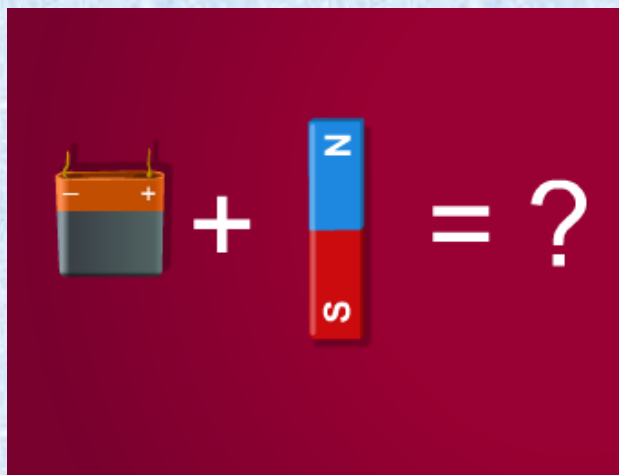
- Ако магнитната индукция B и ъгълът α между магнитната индукция и площта не се променят, то

$$\mathcal{E}_i = -\frac{B\Delta S}{\Delta t} \cdot \cos \alpha$$

- Ако площта S , затворена от проводниковия контур и ъгълът α между магнитната индукция и площта не се променят, то

$$\mathcal{E}_i = -\frac{S\Delta B}{\Delta t} \cdot \cos \alpha$$

Каква е връзката между електричество и магнетизъм?

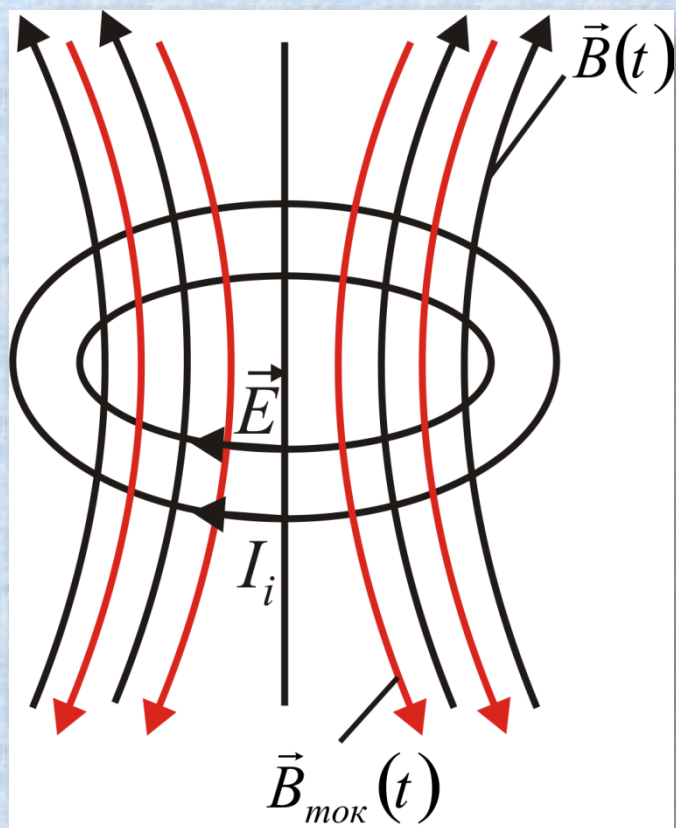


- Неподвижен магнит не предизвиква протичане на ток в неподвижен проводник точно както и неподвижен електричен заряд не създава магнитно поле.
- Движението на магнита спрямо проводника предизвиква протичане на ток в проводника точно както движението на заряди в проводника създава магнитно поле.

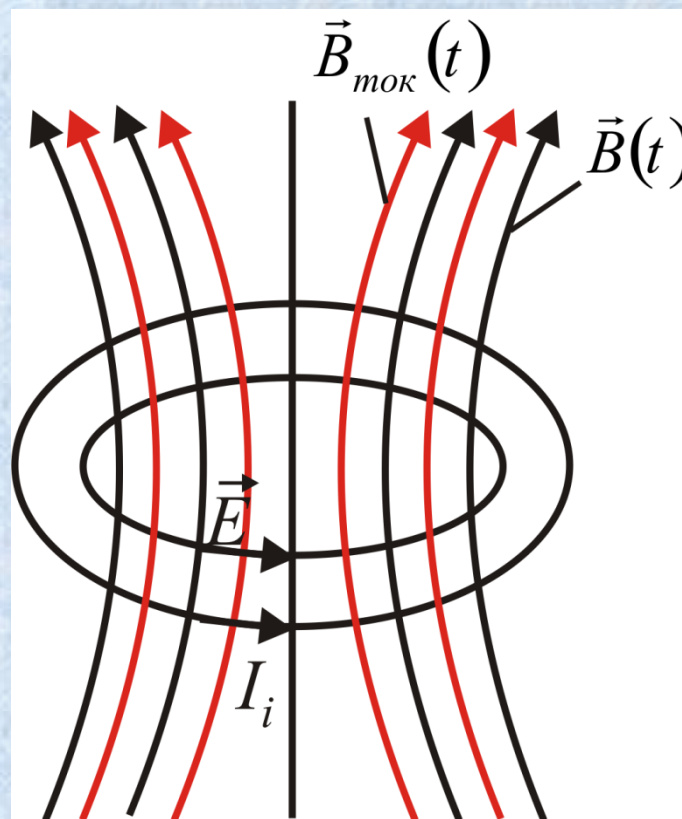
Правило на Ленц

Посоката на индуцирания ток в затворен проводников контур е такава, че магнитното поле, създадено от него, се стреми да компенсира измененията на външното магнитно поле, т.е. да компенсира причината, която го възбужда.

Потокът Φ нараства с времето

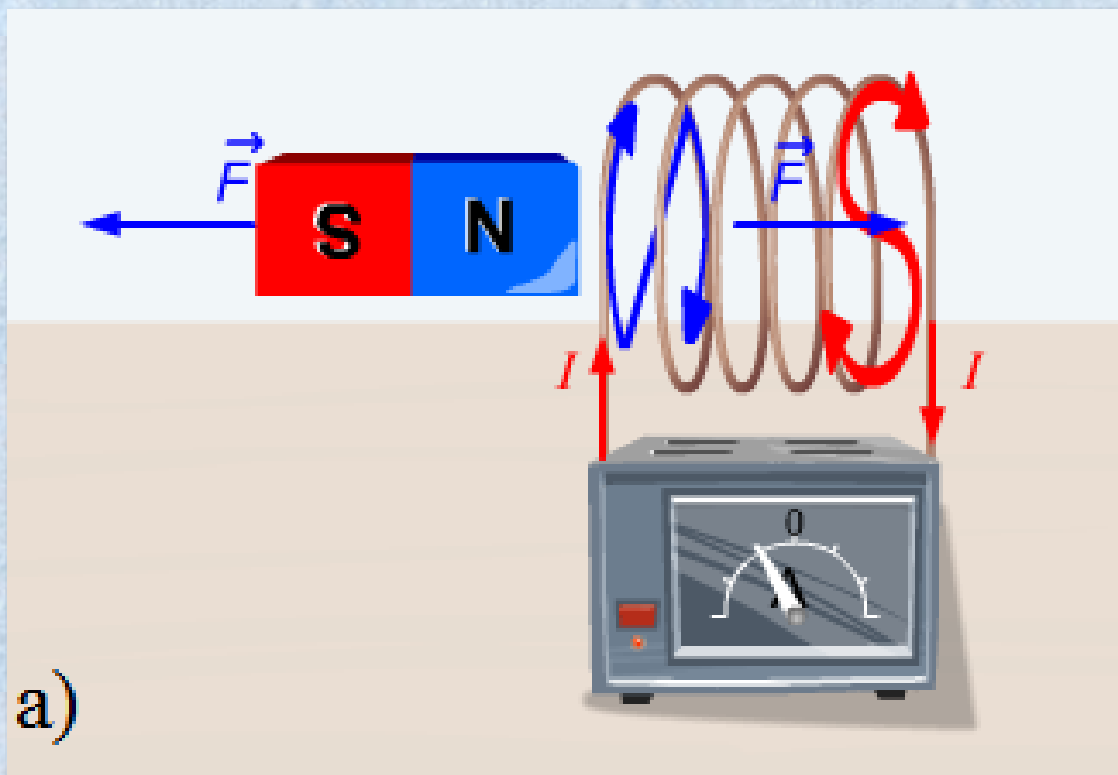


Потокът Φ намалява с времето



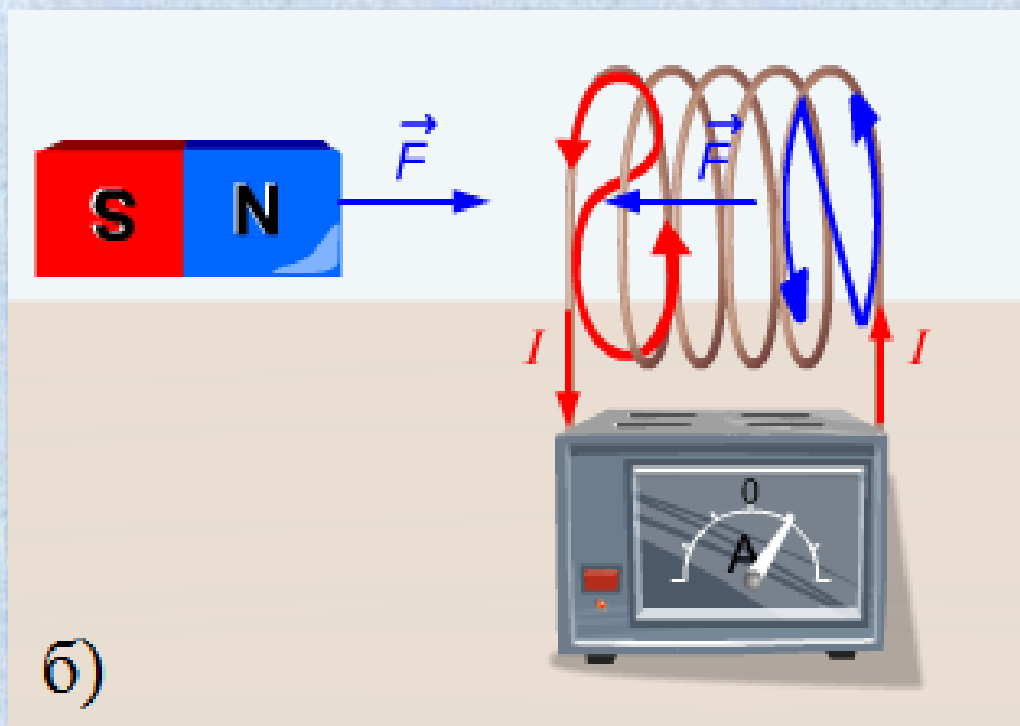
Ако приближим северния полюс N на постоянен магнит към соленоид, индуцираният ток ще тече в такава посока, че N на соленоида ще е от страната на приближаващия магнит.

Полето, създадено от индуцирания ток, се противопоставя на движението на магнита и се стреми да го отдалечи от намотката.



Ако отдалечаваме северния полюс N на постоянен магнит от соленоида, индуцираният ток ще тече в обратна посока.

Полето, създадено от индуцирания ток, също ще се противопостави на движението на магнита и ще се стреми да го привлече към намотката.



Вихрови токове

- Ако в масивен проводник се създаде изменящо се с времето магнитно поле, то в проводника протичат индуцирани токове, които се затварят във вътрешността на проводника - **вихрови токове** или **токове на Фуко**.

$$I_{\text{вихр.}} = -\frac{S}{R} \frac{dB}{dt}$$

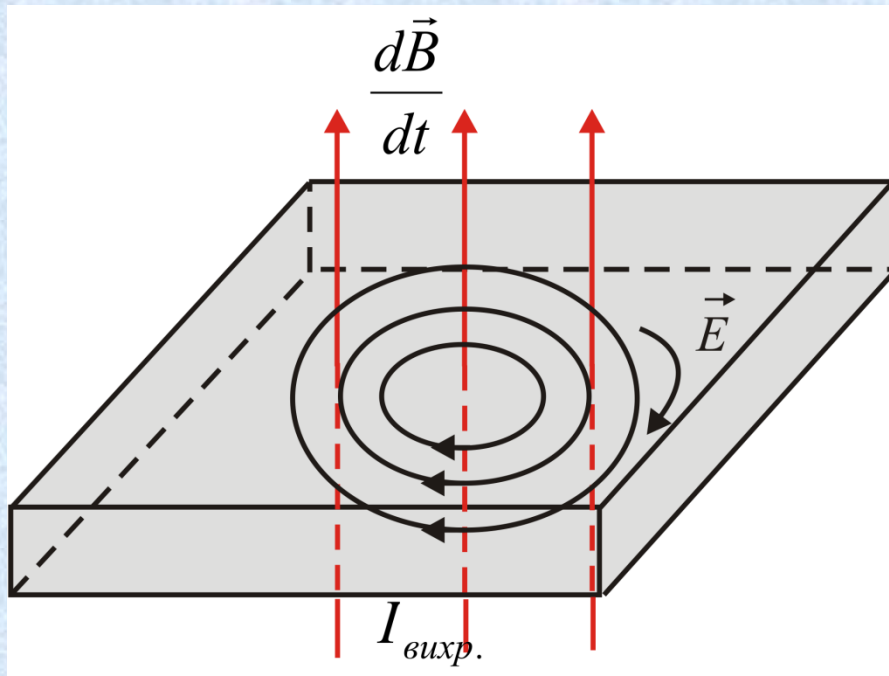
- За масивни проводници R е нищожно, $I_{\text{вихр.}}$ са големи и проводникът се загрява.

Ако магнитното поле е бързоизменящо се с времето:

$$B = B_0 \sin \omega t$$

то отделената мощност е:

$$W \sim \frac{\omega^2}{R}$$



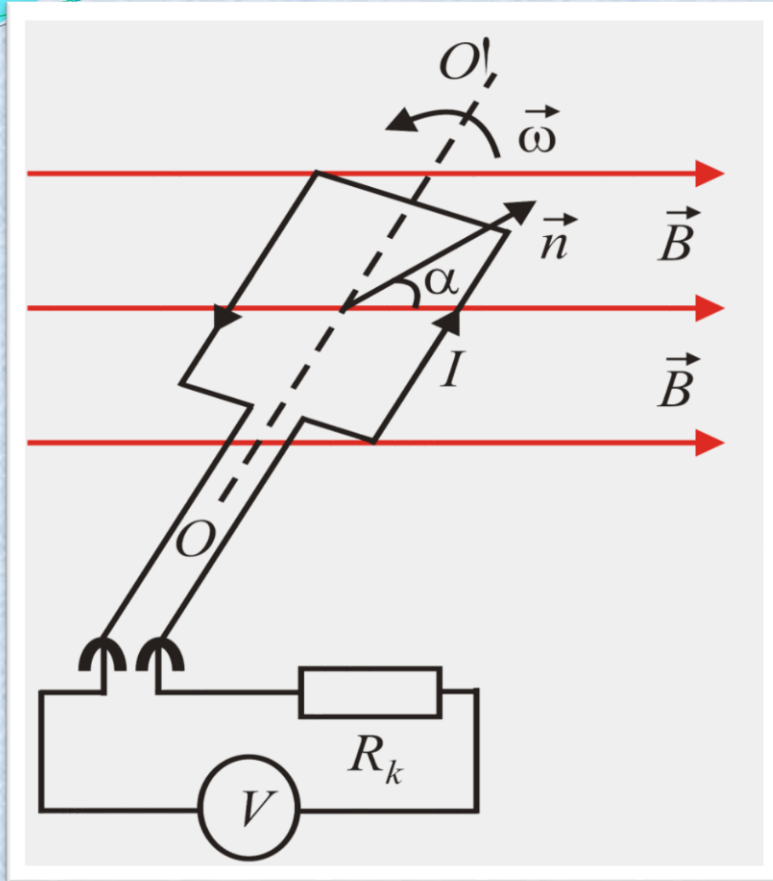
1 – индукционни пещи

- Нагряващите елементи са масивни проводници, по които се пропускат променливи високочестотни токове.
- $R \rightarrow 0$ и ω е висока, то се отделя голяма мощност и пещта силно се нагрява.

2 – трансформаторни сърцевини

- Отделената мощност в сърцевината на трансформатора е източник на загуби на енергия и затова е необходимо да се отстраняват вихровите токове.
- Те се изготвят от отделни пластинки, изолирани една от друга и от материал (например силициева ламарина), който има голямо омическо съпротивление.

Генератор на променлив ток



В генератора на променлив ток при равномерното въртене на рамка в магнитно поле се индуцира ЕДН, което се изменя по хармоничен закон.

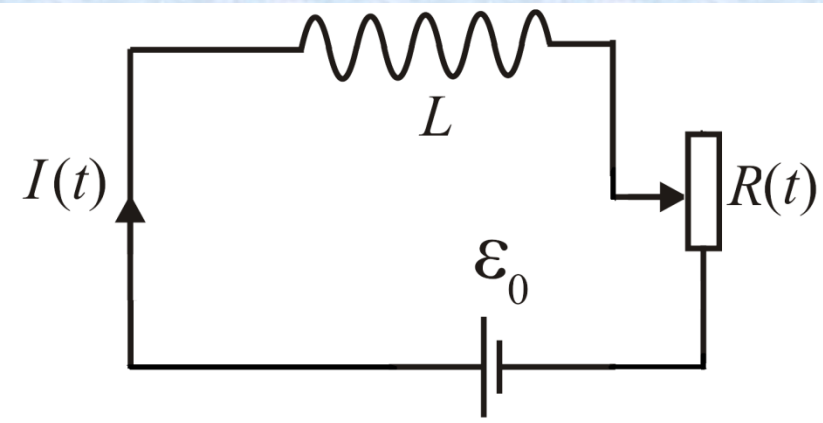
$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos(\omega t + \alpha_0)$$

$$\mathcal{E}_i = BS\omega \sin(\omega t + \alpha_0)$$

$$I_i = \frac{BS\omega}{R_k} \sin(\omega t + \alpha_0)$$

Самоиндукция

Индукцията, породена от изменението на собственото магнитно поле, се нарича *самоиндукция*, а възникналото електродвижещо напрежение – *самоиндуцирано*.



Магнитният поток през намотката е пропорционален на тока през нея:

$$\Phi = L I$$

L зависи от формата и размера на проводящия контура и от магнитните свойства на средата около него μ .

L се нарича коефициент на самоиндукция или **индуктивност на контура**. Единицата за индуктивност е хенри (H).

$$[L] = \frac{[\Phi]}{[I]}; 1H(\text{Хенри}) = \frac{1Wb(\text{Вебер})}{1A(\text{Ампер})}$$

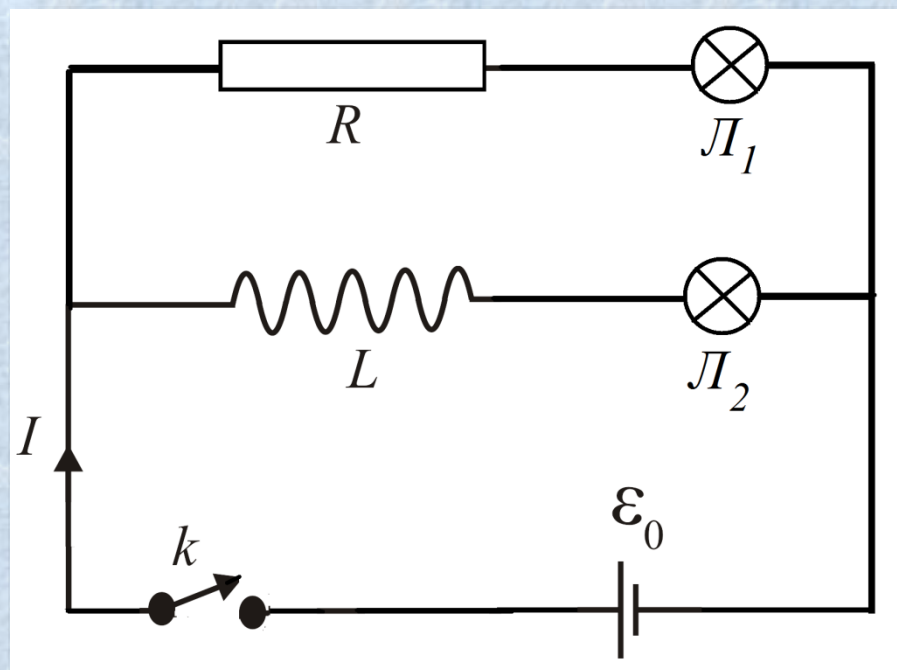
Като се приложи законът на Фарадей за електромагнитната индукция към явлението самоиндукция, за самоиндуцираното ЕДН ще се получи:

$$\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Самоиндуцираният ток ще се наслагва с тока I , обусловен от външния източник.

- Ако токът I , обусловен от външния източник, нараства с времето, самоиндуцираният ток ще е насочен в обратна посока и ще забавя неговото нарастване;
- Ако токът I , обусловен от външния източник, намалява с времето, то самоиндуцираният ток ще е насочен по посока на тока I и ще забавя неговото намаляване.

- На две еднакви лампи се подава едно и също напрежение:
- на L_1 – през резистор R ,
- на L_2 – през намотка L , чието омово съпротивление е R .
- При затваряне на ключа k :
 L_1 светва веднага,
 L_2 достига максималната си светимост постепенно.



Когато токът през намотката нараства (при затваряне на веригата), самоиндуцираният ток има посока, обратна на тока, създаден от източника и затова нарастването е забавено: L_2 светва със закъснение.