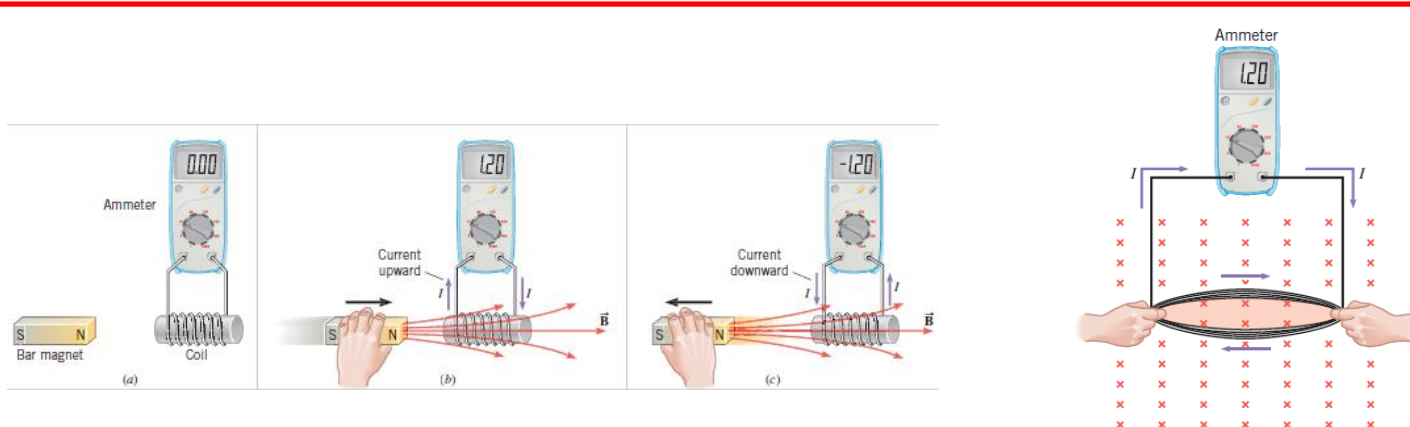


Elektromagnetická indukcia

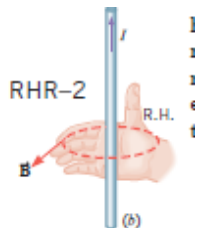
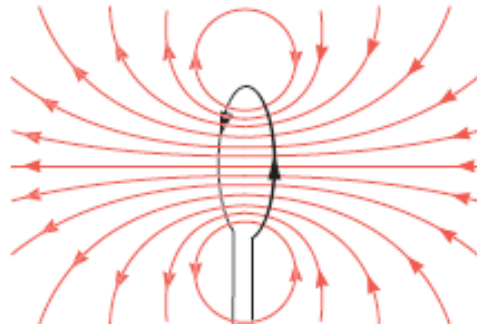
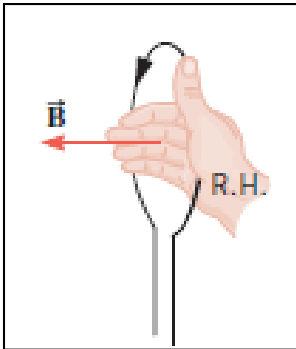
Experimentálnym základom pre objav elektromagnetickej indukcie boli pokusy Michaela Faradaya v roku 1831. Cieľom týchto experimentov bolo **nájsť súvislosti medzi elektrickými a magnetickými javmi.**



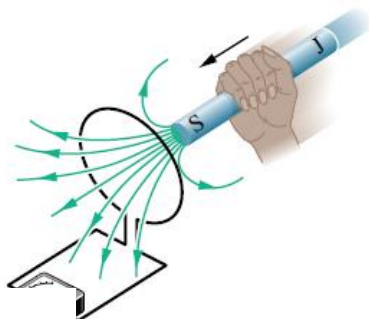
- Vznik prúdu je viazaný na relatívny pohyb medzi slučkou a magnetom
- Rýchlejší pohyb vyvoláva väčší prúd

Príčinou indukcie je **časová** zmena čohosi (počet indukčných čiar ohraničených závitom) , t.j **magnetického indukčného toku**

Pravidlo pravej ruky určovanie smeru indukčných čiar

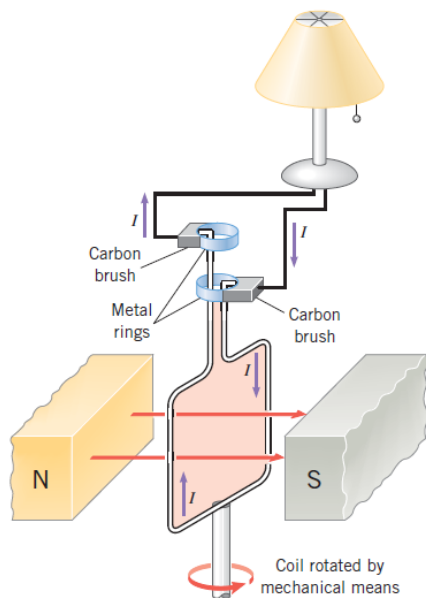
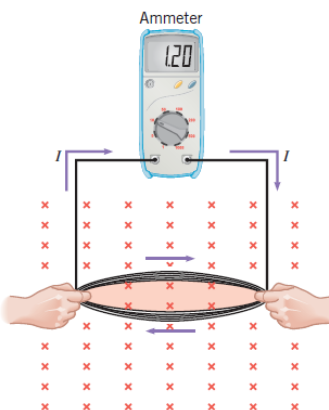


Elektromagnetická indukcia



Faraday si pri týchto pokusoch uvedomil, že elektrický prúd, teda aj elektrické **napätie v cievke** vzniká vtedy, keď sa v cievke mení **magnetický tok**.

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int B \cos \varphi dS$$



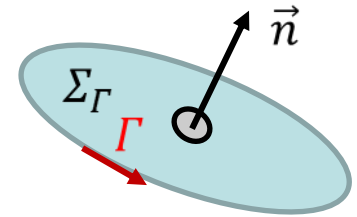
Magnetický indukčný tok môžeme meniť rôznymi spôsobmi:

- 1, meniť veľkosť magnetického poľa vo vnútri závitů $B(t)$
- 2, Meniť plochu magnetického indukčného toku
- 3, Meniť uhol medzi vektorom B a dS v ľubovoľných miestach priestoru.
- 4, kombinácia

Smer indukovaného elektrického prúdu určuje Lencovo pravidlo.

Indukované napätie – práca vykonaná indukovaným poľom s jednotkovým nábojom

$$U_i = \oint \frac{\vec{F}_i}{q} \cdot d\vec{l} = \oint \vec{E}_i \cdot d\vec{l} \vec{n} \Gamma$$



dS je kolmý na plochu aj jeho smer je zviazaný s orientáciou krivky podľa pravidla pravej ruky.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \oint_{\Sigma_{\Gamma}} \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

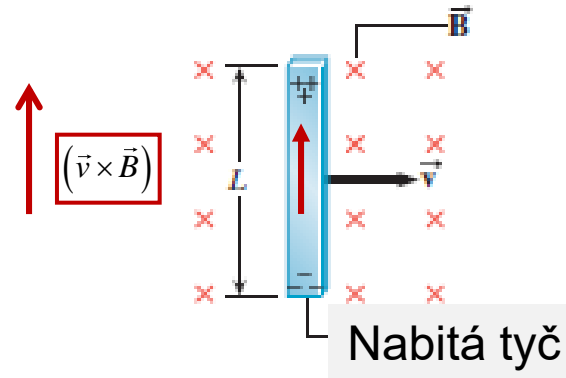
Elektromagnetická indukcia

Lentzov zákon: Smer indukovaného elektrického prúdu je taký, že magnetické pole indukovaného elektrického prúdu svojimi účinkami pôsobí proti zmene, ktorá ho vyvolala.

Lencovo pravidlo je dôsledkom základného prírodného zákona – zákona zachovania energie.

Najjednoduchší indukčný stroj – mechanická práca sa mení na elektrický prúd a súčasne na teplo

Pohyb kovovej tyče v magnetickom poli s konštantnou rýchlosťou v



$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$
$$\vec{F} = q\vec{E}$$

Na každý pohybujúci náboj q pôsobí sila:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Preskupením nábojov sa v tyči vytvorí elektrické pole s intenzitou \vec{E} , ktoré pôsobí na náboj q silou :

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

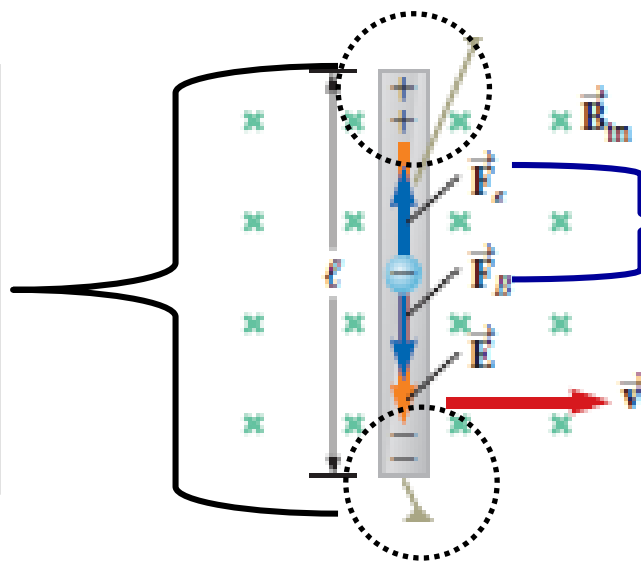
Po vytvorení rovnováhy intenzita tohto poľa je :

$$\vec{E} = \vec{v} \times \vec{B}$$

Pohyb kovovej tyče v magnetickom poli s konštantnou rýchlosťou v

Pohyb voľných nosičov náboja až do vytvorenia rovnováhy

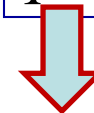
Vplyvom magnetickej sily pôsobiacej na elektróny, sa elektróny koncentrujú na konci tyče a vytvoria elektrické pole



Vnútro tyče

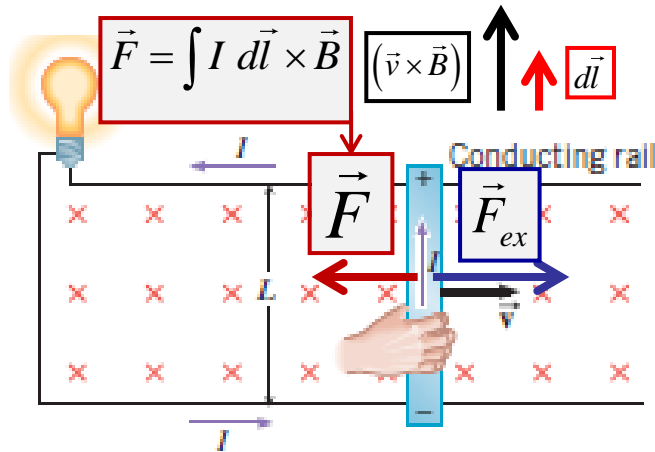
V rovnovážnom stave je elektrická a magnetická sila pôsobiaca na elektróny v rovnováhe

$$q\vec{E} = q\vec{v} \times \vec{B}$$



Vzniká indukované elektrické pole

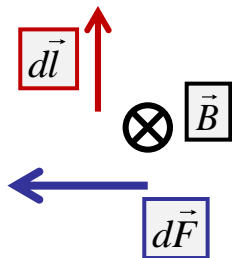
Pohyb kovovej tyče v magnetickom poli s konštantnou rýchlosťou v



\mathbf{F} – sila pôsobiaca na vodič dĺžky L , ktorým tečie prúd I a pohybuje sa v magnetickom poli s indukciou \mathbf{B} . Sila \mathbf{F} bráni pohybu vodiča, pretože smeruje na opačnú stranu, ako vonkajšia sila \mathbf{F}_{ext}

$$\vec{v} = \vec{k} \Rightarrow \vec{F} + \vec{F}_{ex} = \vec{0}$$

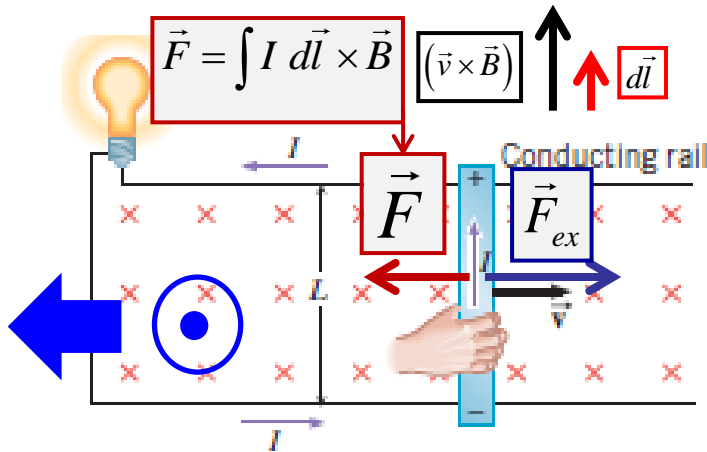
Po zapojení pohybujúcej sa tyče do obvodu, obvodom začne **prechádzať prúd** a na tyč začne pôsobiť **brzdíaca sila \mathbf{F}** , ktorú treba prekonávať, ak sa má zachovať konštantná rýchlosť tyče v .



$$|\vec{F}| = \int I |d\vec{l} \times \vec{B}| = ILB$$

Pohyb kovovej tyče v magnetickom poli s konštantnou rýchlosťou v

Smer indukovaného magnetického poľa

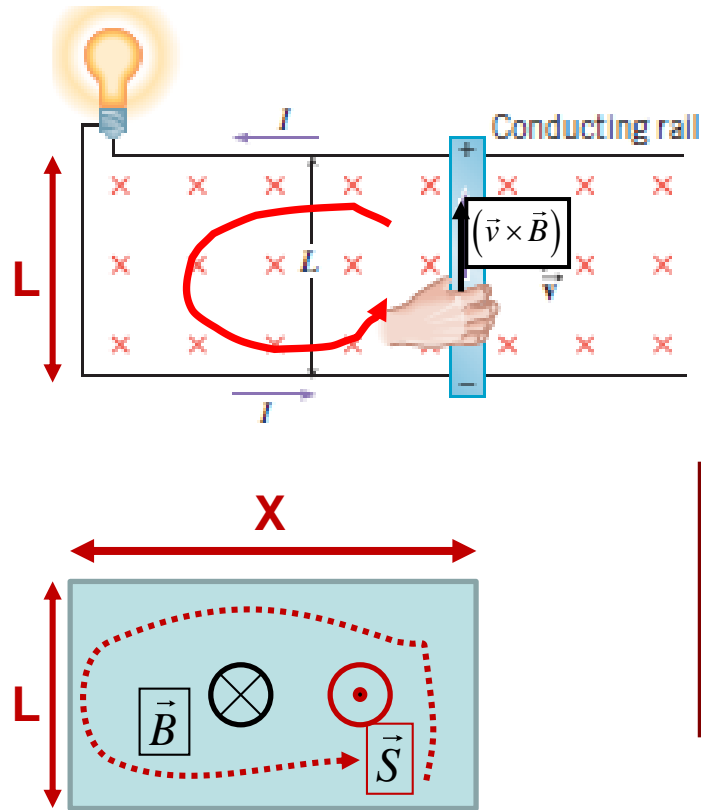


Lentzov zákon: Smer indukovaného elektrického prúdu je taký, že magnetické pole indukovaného elektrického prúdu svojimi účinkami pôsobí proti zmene, ktorá ho vyvolala.

Lencovo pravidlo je dôsledkom základného prírodného zákona – zákona zachovania energie.

Práca externej sily sa mení na teplo

Porovnanie indukovaného napätia s indukčným tokom



Indukované napätie je určené prácou indukovaného elektrického poľa (s jednotkovým nábojom)

$$U_i = \oint \vec{E}_i \cdot d\vec{l} = \oint (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = vBL$$

Dohoda o orientácii vektora plochy

$$\phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \int B dS \cos(\pi) = -BLx$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -BLv$$

$$U_i = -\frac{d\phi}{dt}$$

Indukované napätie (pri pohybe kontúra) vzniká vplyvom magnetickej zložky Lorentzovej sily

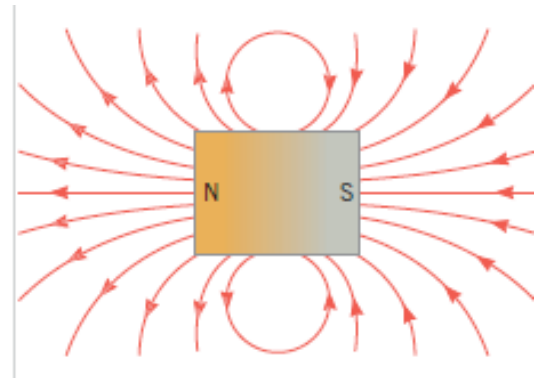
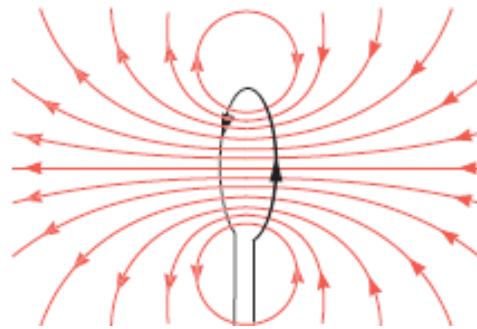
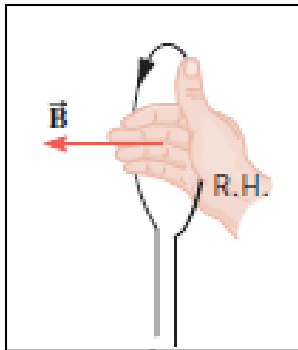
II. Prípad

Časovo meniace sa magnetické pole a jeho vplyv na indukované napätie

Univerzálne platí aj pre tento prípad

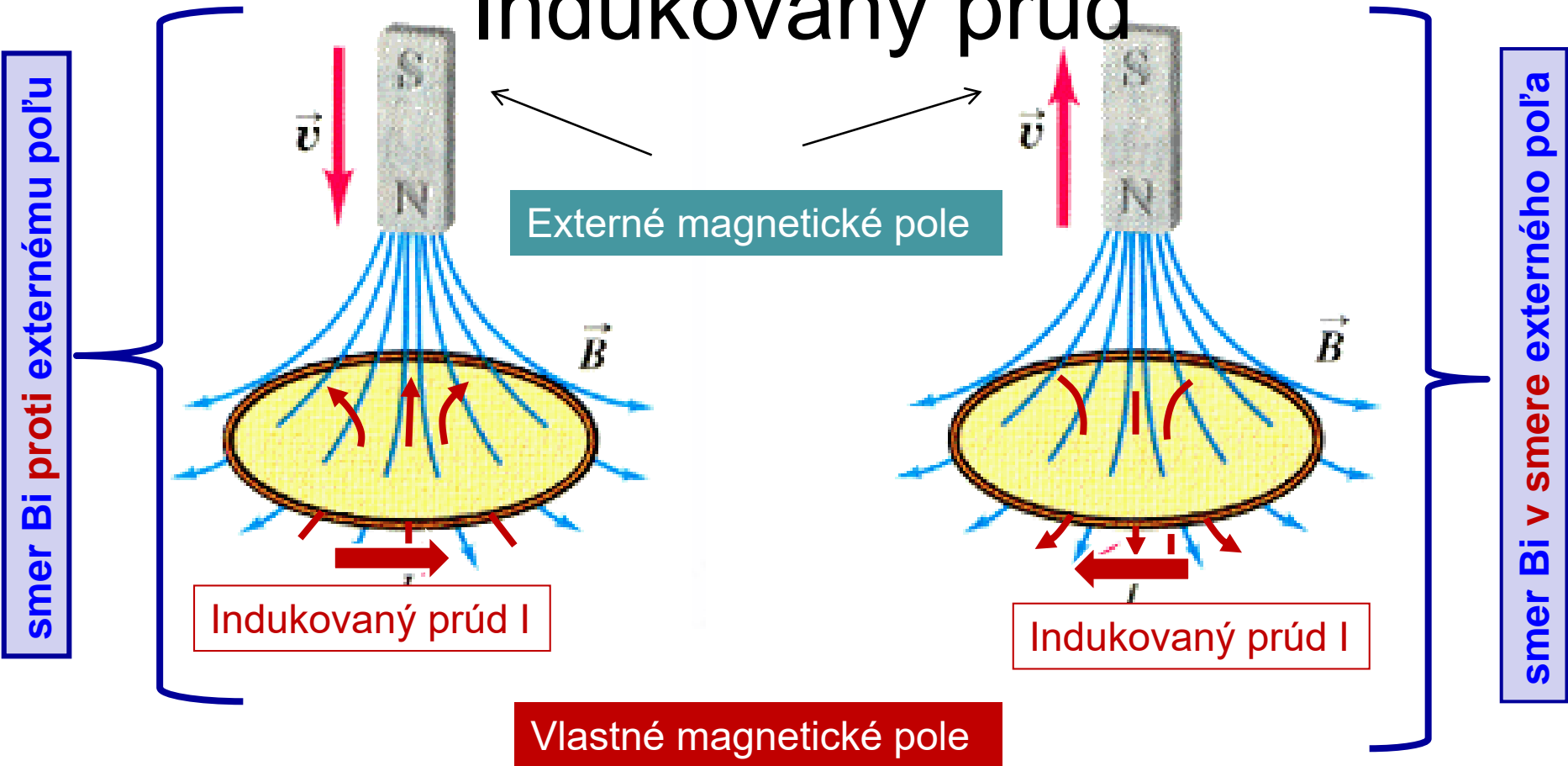
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Magnetické pole v okolí slučky a magnetu

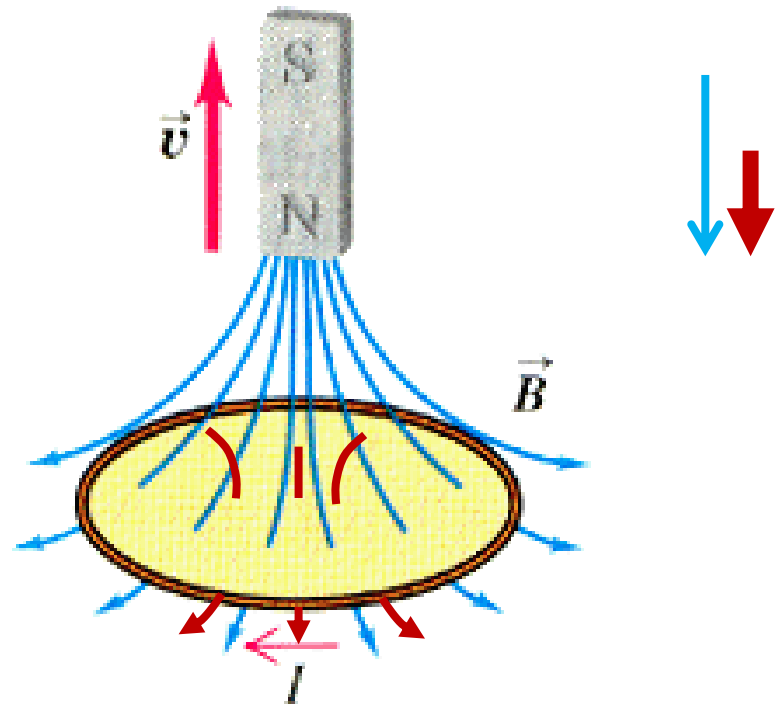
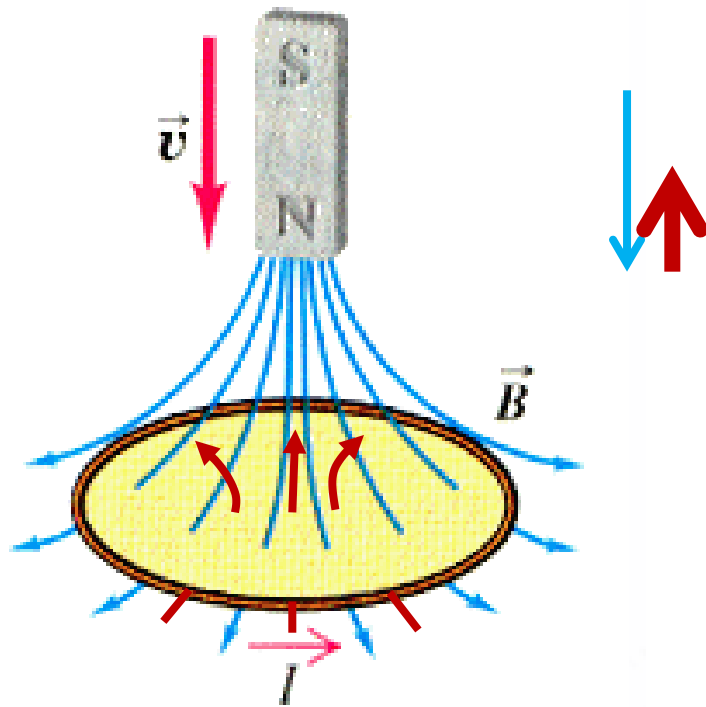


slučka vytvára magnetické pole podobné
mag.poľu tyčového magnetu. Smer
magnetickej indukcie možno určiť
pravidlom pravej ruky

Indukovaný prúd



Vo vodivej obruči tečie indukovaný prúd. Ten prúd vytvára vlastné magnetické pole. Magnetické pole vytvorené indukovaným prúdom je nakreslené **červeno**. **Pri postupnom zosilňovaní externého poľa má smer proti externému poľu. Pri zoslabovaní externého poľa má indukované pole rovnaký smer ako externé pole.**

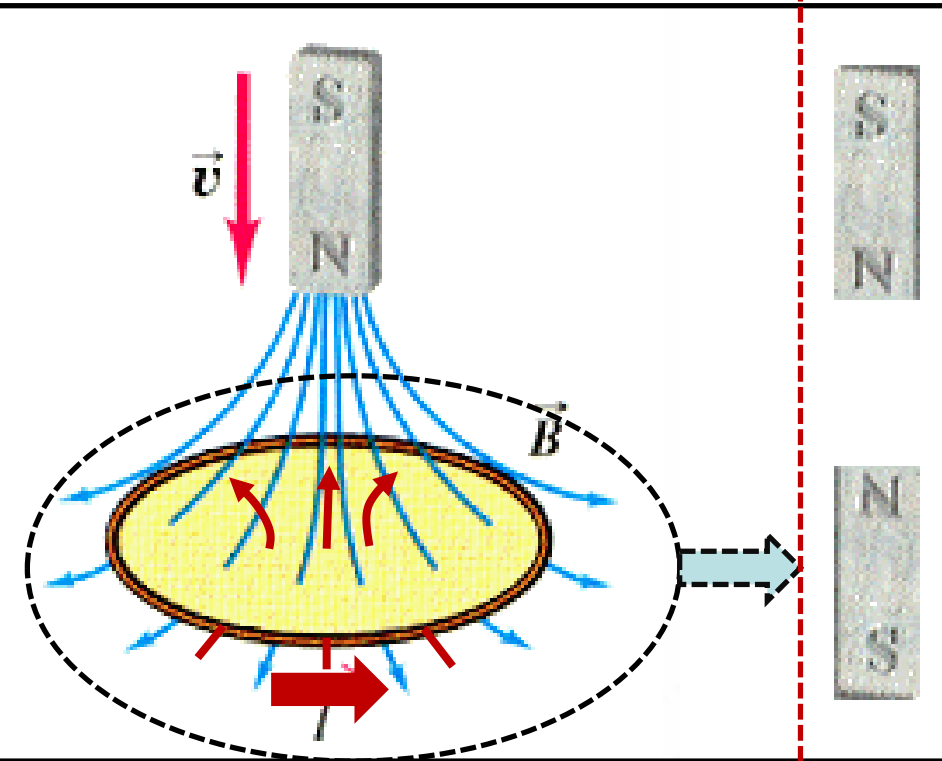


Lenzovo pravidlo: Indukovaný prúd má taký smer, že svojimi magnetickými účinkami „sa snaží“ **zabrániť zmene, ktorá ho vyvolala.**

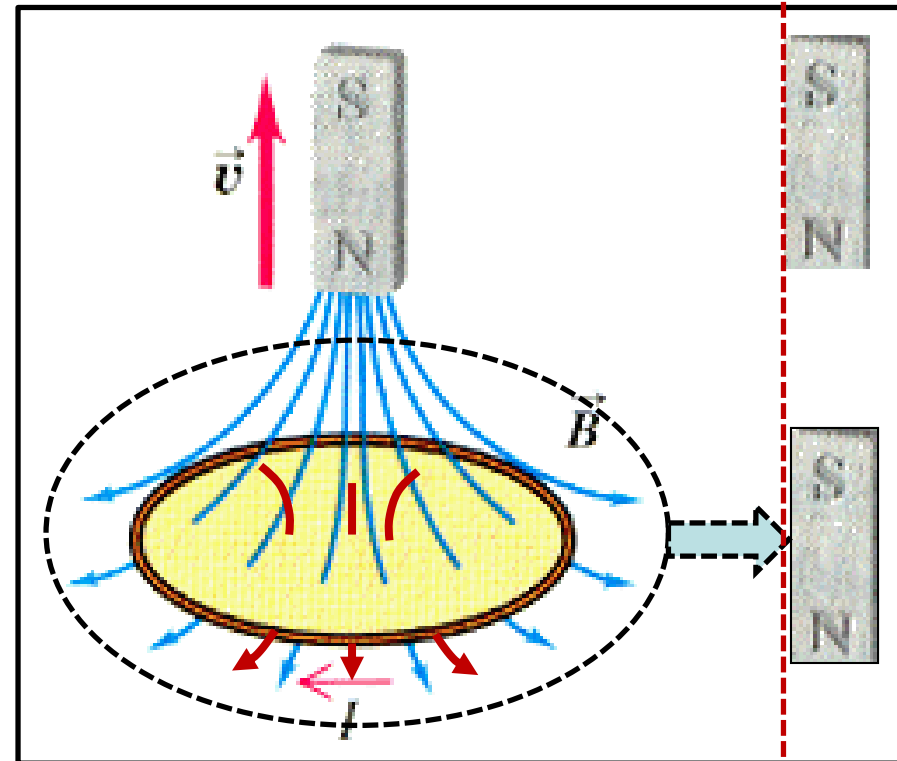
Teda pri zosilňujúcom sa externom poli sa snaží ho zoslabiť, pri zoslabujúcom sa sa externom poli sa snaží ho zosilniť.

Silové pôsobenie

Pole závitů možno nahradit' poľom magnetu



Prekonávame odporivú silu



Prekonávame príťažlivú silu

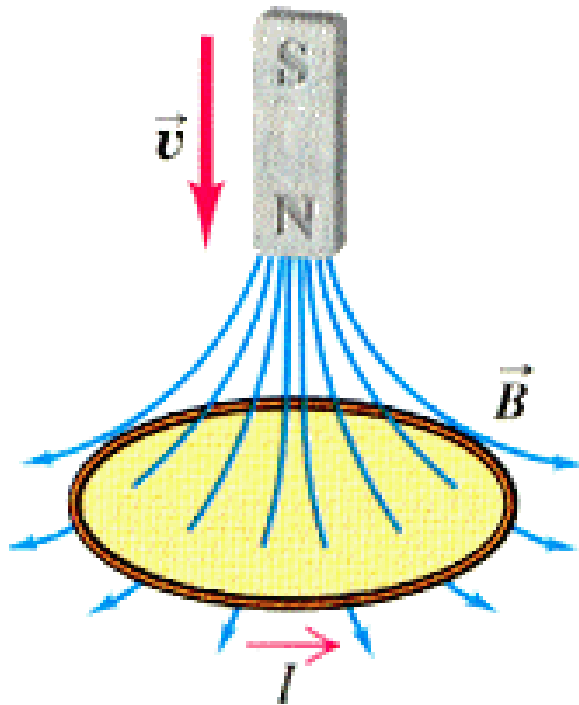
Zasúvanie aj vysúvanie magnetu je spojené s **prácou externej sily**, pričom sa táto práca zmení na teplo v elektrickom odpore závitů.

Čo je to za pole, ktoré poháňa
elektróny v slučke pri pohybe
magnetu ???

Je to pole magnetické ?

Je to pole elektrické ?

Aké má vlastnosti – je konzervatívne ?



HYPOTÉZA: V záвите vznikne elektrické pole, ktoré poháňa elektróny a vytvára indukovaný elektrický prúd. V tomto prípade nemôže nosiče náboja poháňať magnetická časť Lorentzovej sily, keďže náboje sú v pokoji. Magnetická časť Lorentzovej sily nemohla mať na ne žiaden účinok:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} + q\vec{E}$$

JE TO ELEKTRICKÉ POLE

To pole je nenulové len ak sa magnetické pole mení, teda ak:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \neq 0$$

MENIACE SA MAGNETICKÉ POLE VYTVÁRA POLE ELEKTRICKÉ

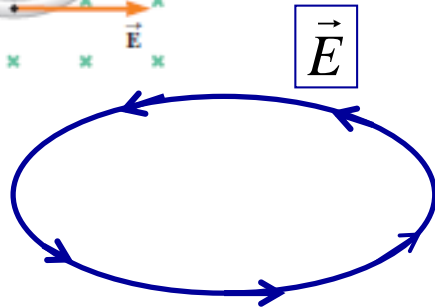
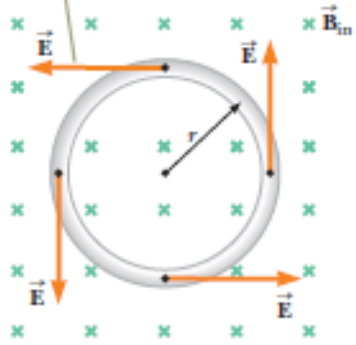
VLASTNOSŤ POĽA: Elektróny obiehajú dookola, situácia je cylindricky symetrická, teda elektrické pole je pozdĺž celej obruče rovnako veľké a má smer dotýčnice k obruči. Teda cirkulácia elektrického poľa po uzavretej krivke je nenulová

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} \neq 0$$

JE TO NEKONZERVATÍVNE POLE

Práca poľa nebude nulová po uzavretej krivke

If \vec{B} changes in time, an electric field is induced in a direction tangent to the circumference of the loop.



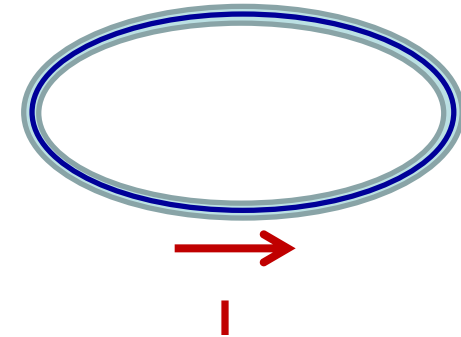
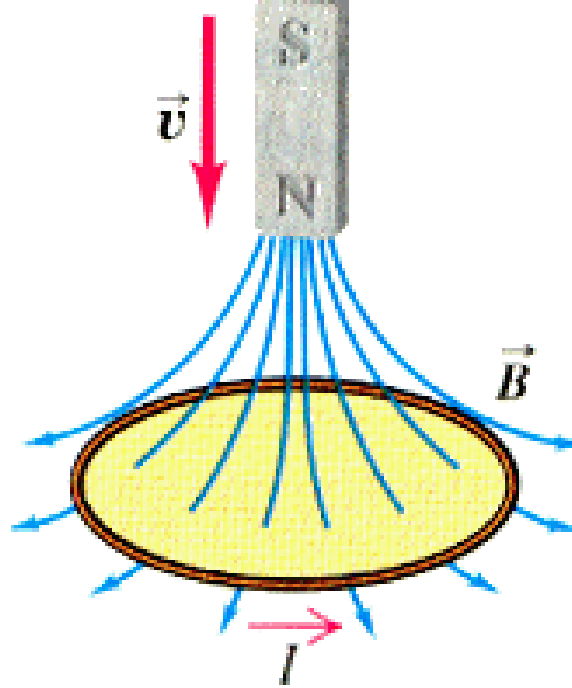
E kolmé na siločiar



Smer indukovaného prúdu –Lentzov zákon



Indukované elektrické pole



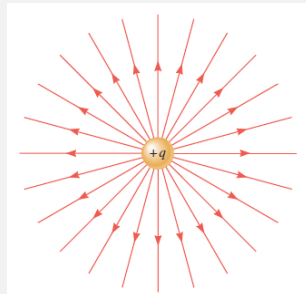
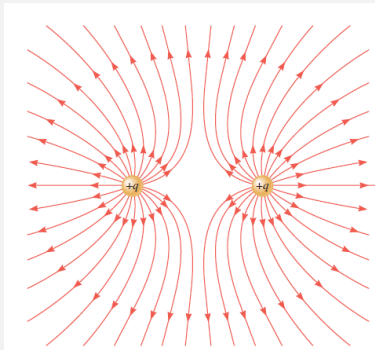
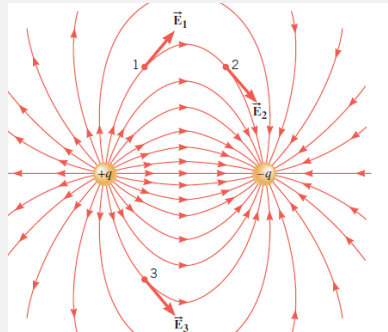
Elektrické siločiar vytvárajú **uzavreté krivky** na rozdiel od siločiar vytváraných statickým rozložením náboja, ktoré začínajú a končia v nábojoch.

NEMÁ ZMYSEL ZAVÁDZAŤ POTENCIÁL PRE TOTO POLE !!!!!

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} \neq 0$$

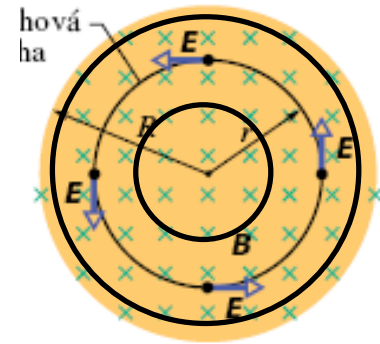
Elektrostatické pole a elektrické pole indukované

Elektrické siločiarý v elektrostatike



$$\oint_{\Gamma} \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

Siločiaru indukovaného poľa



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{r} \neq 0$$