

**64. Definujte fyzikálnu veličinu magnetický indukčný tok, uveďte vzťah na jeho výpočet. Vo fyzikálnom vzťahu popíšte jednotlivé fyzikálne veličiny a uveďte ich príslušné fyzikálne jednotky.**

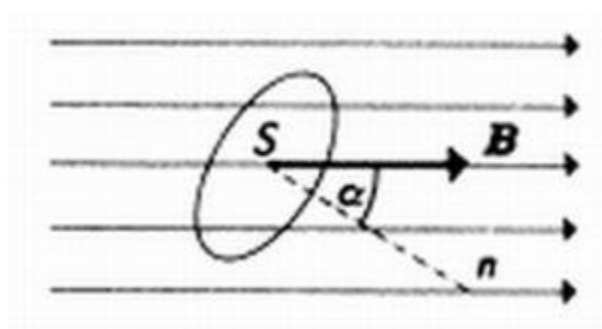
Magnetický indukčný tok alebo magnetický tok je fyzikálna veličina, ktorá sa používa na opis elektromagnetickej indukcie. Vyjadruje súhrnný tok magnetickej indukcie prechádzajúci určitou plochou.

Symbol veličiny:  $\Phi$

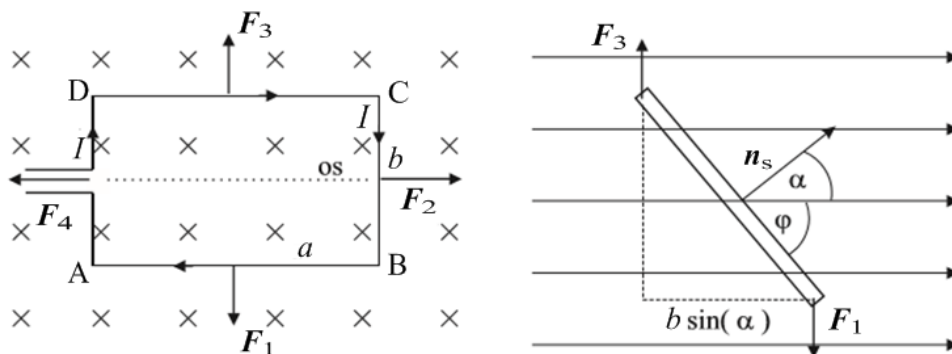
Základná jednotka: Weber, značka jednotky Wb

Rozmer jednotky:  $\text{Wb} = \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$  v sústave SI, inak aj  $\text{V} \cdot \text{s}$  alebo  $\text{T} \cdot \text{m}^2$ .

$\Phi = BScos\alpha$  - vzťah ktorý určuje magnetickú indukčnosť.  $B$  - magnetická indukčnosť 1T,  $S$  - plocha,  $\alpha$  - uhol ktorý zvierá plochu ktorá nie je kolmá na vektor magnetickej indukcie  $B$ .



**65. Vysvetlite vplyv silového pôsobenia magnetického poľa na prúdový závit (slučku).**



Majme pravouhlý obdĺžnikový prúdový závit ABCD s rozmermi  $a$ ,  $b$ , ktorým preteká jednosmerný el. prúd  $I$ . Závit je umiestnený do homogénneho mg. poľa s magnetickou indukciou  $B$ , pričom sa môže voľne otáčať okolo osi  $o$ . Ak zabezpečíme, že os otáčania je kolmá na vektor  $B$ , potom časti závitu AB, CD budú stále kolmé na smer mg. indukcie.

Druhé časti závitu AD, BC zvierajú vo všeobecnosti s vektorom mg. indukcie  $B$  uhol  $\varphi$ . Keďže nimi preteká prúd  $I$  v opačnom smere, pôsobí teda na ne mg. pole silami rovnakej veľkosti:  $F_b = F_2 = F_4 = B I b \sin \varphi$ ,

ktoré majú **opačný smer pôsobenia** a navzájom sa rušia. Analogicky na strany AB, CD kolmé k vektoru  $\mathbf{B}$  pôsobia sily rovnakej veľkosti:

$$F_a = F_1 = F_3 = B I a$$

no sú opačne orientované. Tieto sily teda tvoria dvojicu síl, ktorých moment sily  $\mathbf{M}$  má veľkosť  $M$ :

$$M = F_a b \sin \alpha = B I a b \sin \alpha = B I S \sin \alpha,$$

kde  $S = ab$  je plocha závit.

Vo vektorovom tvare sa dá otáčavý moment sily magnetického poľa na prúdový závit zapísať v tvare  $\mathbf{M} = I(\mathbf{S} \times \mathbf{B})$ . Pôsobením tohto otáčavého momentu sa závit s prúdom v danom magnetickom poli snaží natočiť do smeru, kde rovina slučky bude kolmá k mg. indukčným čiarom (vektor normály plochy je rovnobežný s vektorom  $\mathbf{B}$ ).

V tomto stave je mg. energia závit minimálna. Základné prvky elektrického motora.

Pravouhlá slučka, ktorou preteká prúd, sa voľne otáča okolo pevnej osi a nachádza sa v magnetickom poli.

Magnetické sily vytvárajú silový moment, ktorý spôsobí otáčanie slučky.

Komutátor, ktorý nie je na obr. zakreslený, mení smer prúdu každú polovicu otáčky, takže silový moment má vždy rovnaký smer. Prúdový závit sa v mag. poli správa podobne ako dipól

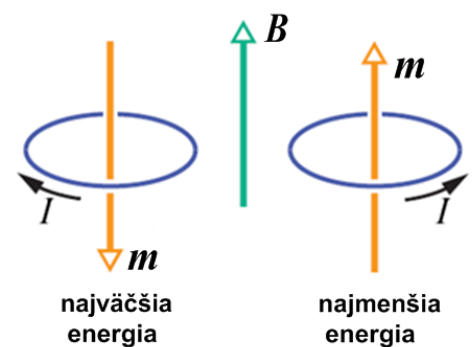
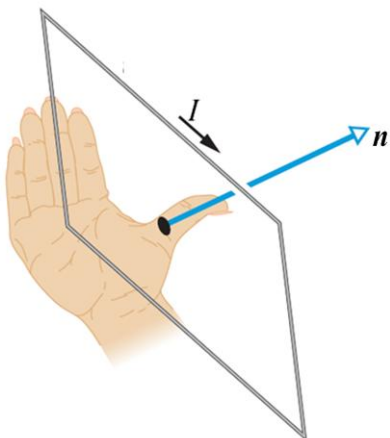
v elektrickom poli.

Nazývame ho **magnetický dipól**.

V mag. poli zavádzame veličinu **magnetický moment prúdovej slučky**  $\mathbf{m}$ :

$$\mathbf{m} = I \mathbf{S} \quad \text{Jednotka } [m] = \text{A} \cdot \text{m}^2$$

**Otáčavý moment sily pôsobiaci na dipól** sa dá potom vyjadriť vzťahom:  $\mathbf{M} = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$

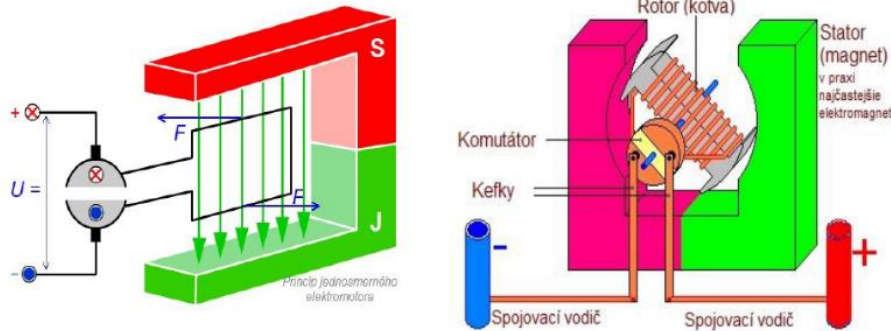


**Otáčavý moment sily pôsobiacej na dipól:**  $M = m \times B$  **Potenciálna energia dipólu:**

$E_p = -m \cdot B$  Pôsobenie mg. poľa na prúdový závit má široké využitie

v technickej praxi i pri vysvetľovaní mg. vlastností určitých materiálov.

Na jeho princípe pracujú napr. meracie prístroje s otočnou cievkou a iné elektrotechnické zariadenia (napr. elektromotor, dynamo a pod.)



Jednosmerný elektromotor

## 66. Vysvetlite jav magnetizácie látky.

Magnetické látky (magnetiká) sú látky, ktoré po ich vložení do magnetického poľa toto pole ovplyvňujú. Príčina zmeny spočíva v tom, že magnetiká pozostávajú z atómov, ktoré majú trvalé alebo poľom indukované elementárne magnetické momenty. Tie sú v magnetickom poli čiastočne orientované. Mierou zmagetovania látky je magnetizácia  $M$ , d d V m  $M = (1.4.53)$  kde  $dm$  je vektorový súčet elementárnych magnetických momentov v elementárnom objeme  $dV$  látky. Jednotkou magnetizácie  $M$  v sústave SI je  $1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ .

67. Charakterizujte správanie sa látok v magnetickom poli.

Elementárnymi nositeľmi mg. vlastností materiálov sú **atómy**

**Paramagnetické látky**

molekulárne prúdy aj bez mg. poľa. V mg. poli sa pootočia tak, aby vektory polí zvierali minimálny uhol. Tým pole zosilňujú.

$$\mu > \mu_0 \quad \chi > 0$$

**Diamagnetické látky**

molekulárne prúdy nie sú bez mg. poľa. V mg. poli sa elementárne molekulárne prúdy začínajú vytvárať, ale pootočia tak, že pole zoslabujú.

$$\mu < \mu_0 \quad \chi < 0$$

**Feromagnetické látky**

Napr. Fe, Ni, Co resp. ich zliatiny a pri nízkych teplotách, Gd, Sm, Dy

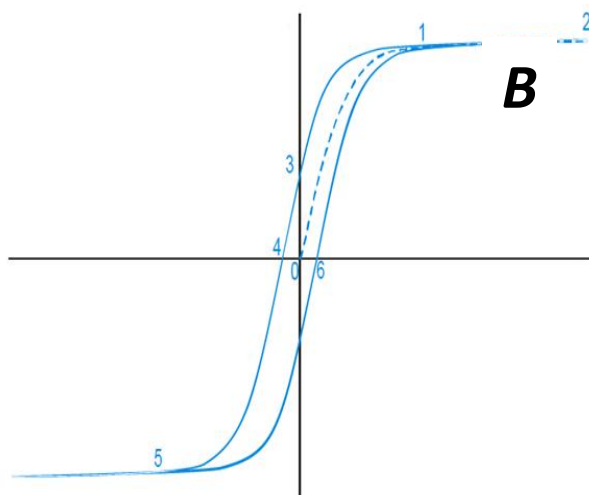
**Vlastnosti:**

Permeabilita feromagnetických látok nie je konštantná

Magnetizácia sa udrží aj po odstránení príčiny jej vzniku

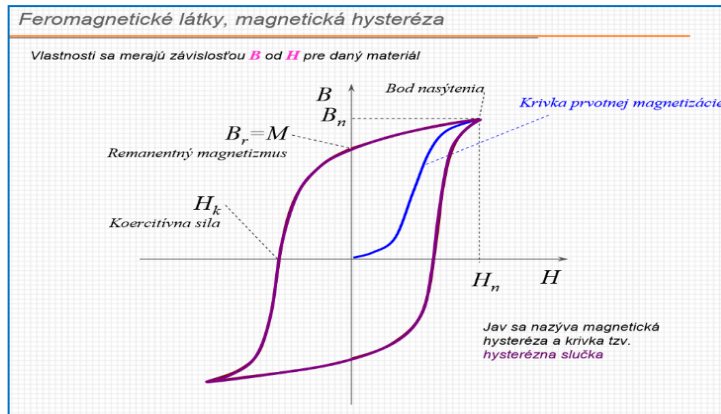
| Diamagnetiká  | $-\chi \cdot 10^6$ | Paramagnetiká     | $\chi \cdot 10^6$ |
|---------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| Voda          | 9                  | Hliník            | 24                |
| Kuchynská soľ | 14                 | Titán             | 71                |
| Ortuť         | 29                 | Platina           | 264               |
| Zlato         | 36                 | Urán              | 400               |
| Bismut        | 166                | Kyslík (kvapalný) | 3620              |

68. Uveďte, čo vyjadruje hysteréza krivka (slučka), popíšte jej jednotlivé časti.



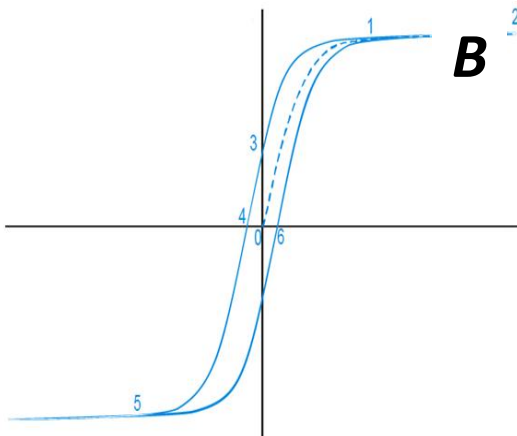
**H**

**Hysterézná krivka (slučka)** vyjadruje závislosť magnetického poľa v látke od vonkajšej magnetizácie (udávaná pomocou veličiny  $H$ , ktorá zodpovedá prúdu, ktorý magnetické pole vytvára.)



### Zväčšovanie vonkajšieho mg. poľa

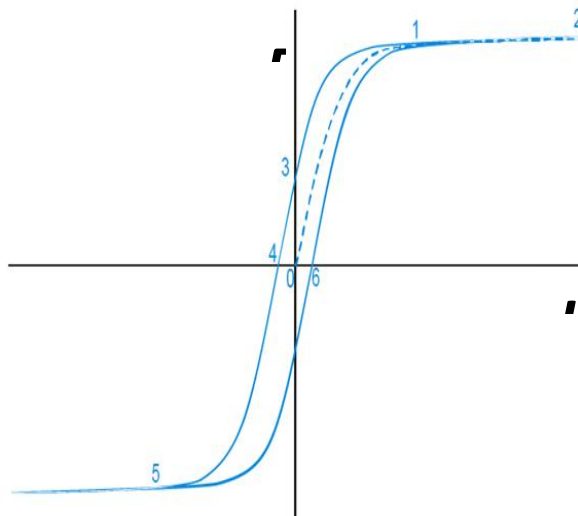
- bod 0 = látka nie je vôbec magnetizovaná (žiadna doména nemá prevahu), vonkajšie pole je nulové,
- **prechod z bodu 0 do bodu 1** - doména, ktorá má rovnaký smer s magnetickým poľom sa zväčšuje a ostatné domény sa zmenšujú, látka stále viac zosilňuje vonkajšie pole,
- **bod 1** – látka je nasýtená,
- **prechod z bodu 1 do bodu 2** - látka je nasýtená, vnútorné pole se zväčšuje len tak, ako sa zväčší vonkajšie pole.



Hodnota magnetickej indukcie v látke nezávisí len od vonkajšieho poľa,

**H**

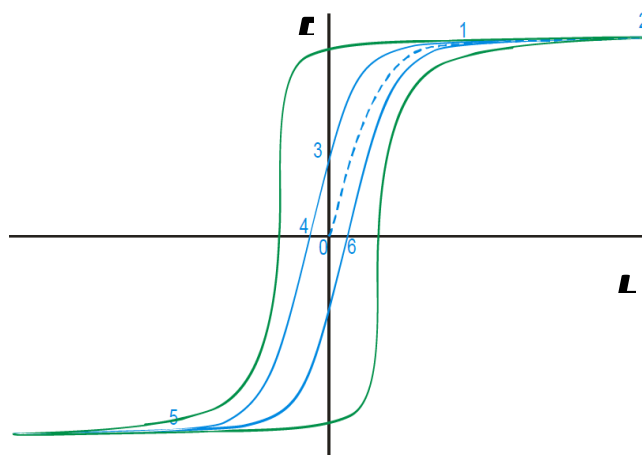
ale aj od histórie jej magnetizovania.



### Zmenšovanie vonkajšieho mg. poľa

- prechod z bodu **2 do bodu 1** – vnútorné pole sa zmenšuje so zmenšovaním vonkajšieho mg. poľa
- prechod z bodu **1 do bodu 3** – doména sa začne zmenšovať neskôr než ako sa zväčšovala, vnútorné pole klesá pomalšie ako pri magnetizácii
- **bod 3** – vonkajšie pole je nulové, ale vnútorné pole nulové nie je = látka je zmagnetizovaná a správa sa ako magnet
- prechod z bodu **3 do bodu 4** – vonkajšie magnetické pole má opačnú orientáciu ako vnútorné, postupne sa zmenšuje vnútorné pole na nulu,
- **bod 4** – vonkajšie pole je tak veľké, že dokáže vrátiť vnútorné pole na nulu.

Rôzne druhy železa majú rôzne hystérezne krivky:



Čím väčší je obsah krivky, tým väčšiu energiu je treba dodať materiálu, aby prebehlo striedavé zmagnetizovanie.

**69. Objasnite fyzikálnu podstatu javu elektromagnetickej indukcie. Napíšte a vysvetlite Faradayov zákon elektromagnetickej indukcie. Vysvetlite, za akých podmienok a prečo, môže vo vodiči vzniknúť indukované elektromotorické napätie.**

Magnetické pole je jedna z foriem prejavu elektromagnetického poľa. Magnetické pole pôsobí na pohybujúce sa elektricky nabité častice alebo telesá, na prúdovodiče a na častice alebo telesá, ktoré majú magnetický moment, a tými istými objektami sa vytvára. Elektromagnetické pole je forma hmoty, v ktorej je rozdelenie na pole elektrické a na pole magnetické relatívne, to znamená, že závisí od podmienok, pri ktorých elektromagnetické pole pozorujeme pomocou prístrojov.

Pri svojom prvom pokuse navinul na železný prstenec dve cievky, pričom prvú pripojil cez vypínač k batérii a konce druhej cievky spojil dlhším drôtom, vedľa ktorého umiestnil magnetku. V okamihu zapnutia, resp. prerušenia elektrického prúdu v prvej cievke pozoroval vychýlenie magnetky, a to v opačných smeroch. V druhom pokuse pri zasúvaní trvalého magnetu do prázdnej cievky pozoroval výchylku magnetky umiestnenej vedľa drôtu spájajúceho konce cievky, pri spätnom pohybe magnetu pozoroval opačnú výchylku magnetky. Akonáhle zastavil pohyb magnetu, magnetka sa vrátila do pôvodnej polohy pred pokusom. V treťom pokuse pri otáčaní medeného kotúča v magnetickom poli Faraday pozoroval výchylku magnetky umiestnenej vedľa drôtu, ktorým bola vodivo spojená kovová os kotúča s klzným kontaktom na obvodě kotúča. Pri opačnej rotácii kotúča pozoroval opačnú výchylku magnetky. Výchylku magnetky v každom pokuse spôsobilo magnetické pole indukovaného elektrického prúdu. Príčinou vzniku indukovaného elektrického prúdu v uzavretom vodiči bolo zrejme indukované elektromotorické napätie. Na základe svojich experimentov Faraday formuloval v roku 1831 zákon elektromagnetickej indukcie:

**Indukované elektromotorické napätie  $U_i$  v uzavretom vodiči sa rovná zápornej časovej zmene magnetického toku  $\Phi$  cez plochu ohraničenú vodičom:**

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

Na udržiavanie elektrického prúdu v obvode je potrebné stále napätie, ktoré vytvoríme stálym potenciálovým rozdielom medzi dvoma miestami aj vtedy, keď je z nich elektrický náboj odoberaný. Zariadenia slúžiace na tento účel nazývame zdroje elektromotorického napätia. Sú to teda zariadenia, ktoré vytvárajú stály potenciálový rozdiel medzi dvoma miestami (elektrodami) a pri tom sa v nich mení iná forma energie na elektrickú. Napríklad akumulátory, fotočlánky, termočlánky, alternátory, ... . Preto, aby sme si vedeli vysvetliť a dokázali opísať javy prebiehajúce v zdroji elektromotorického napätia, zavádzame pojem cudzie sily. Sú to sily neelektrickej povahy, ktoré zabezpečujú hromadenie elektrického náboja v daných miestach (elektrodach). Môžu to byť, napr. chemické sily. Cudziu silu budeme značiť  $F_0$ . Počas premiestňovania elektrických nábojov v zdroji pôsobia cudzie sily na tieto náboje a hromadia ich na elektrodach, čím sa vytvára medzi dvoma miestami vodiča (zdroja) potenciálový rozdiel, ktorý nazveme elektromotorické napätie. Definovať ho budeme ako podiel práce potrebnej na prechod daného elektrického náboja zdrojom elektromotorického napätia a veľkosti tohto náboja.

**70.** Definujte Lenzov zákon. Vysvetlite, čo pomocou neho môžeme určiť.

## Lenzov zákon

V r. 1834 ruský fyzik nemeckého pôvodu Heinrich Friedrich Emil Lenz formuloval **Lenzov zákon**:

**Indukovaný elektrický prúd tečie takým smerom, že svojimi magnetickými účinkami pôsobí proti zmenám, ktoré ho vyvolali.**

V rovnici:

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

**je Lenzov zákon vyjadrený záporným znamienkom na pravej strane rovnice.**



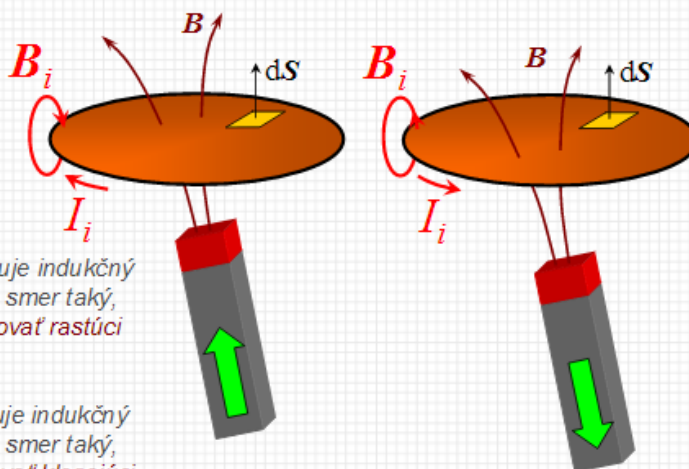
Pre výpočet veľkosti indukovaného EMN sa ignoruje znamienko – vo Faradayovom zákone elmag. indukcie.

Lenzov zákon sa zaoberá orientáciou indukovaného prúdu vzhľadom na magnetické pole.

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

1) Pohybom magnetu ku slučke sa zvyšuje indukčný tok slučkou. Indukovaný prúd má potom smer taký, aby vyvolal mg. pole, ktoré bude zoslabovať rastúci indukčný tok.

2) Pohybom magnetu od slučky sa znižuje indukčný tok slučkou. Indukovaný prúd má potom smer taký, aby vyvolal mg. pole, ktoré bude zosilňovať klesajúci indukčný tok.



#### Lenzov zákon

Orientácia indukovaného prúdu (napätia) je taká, že ním vyvolaný indukčný tok kompenzuje zmenu indukčného toku, ktorá bola príčinou jeho vzniku.

**71.** Objasnite fyzikálnu podstatu javu samoindukcie. Vysvetlite, čo je koeficient samoindukcie (indukčnosť). Uvedte, v akých fyzikálnych jednotkách indukčnosť vyjadrujeme.

Uvažujme o slučke s elektrickým prúdom  $I$  (o uzavretom prúdovodiči). Vo svojom okolí vytvára vlastné magnetické pole s uzavretými magnetickými indukčnými čiarami. Tie pretínajú plochu, ktorú prúdová slučka ohraničuje a vytvárajú vlastný magnetický tok  $\Phi$  cez túto plochu. Podľa zákona Biota-Savarta-Laplacea je magnetická indukcia  $B$  v jednotlivých bodoch plochy, a tým aj vlastný magnetický tok  $\Phi$  cez plochu priamo úmerný elektrickému prúdu  $I$  v uzavretom prúdovodiči. Vlastná indukčnosť  $L$  je definovaná podielom vlastného magnetického toku  $\Phi$  a elektrického prúdu  $I$  v slučke

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

Jednotka indukčnosti v sústave SI henry ( $1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$ ) je pomenovaná podľa amerického fyzika Josepha Henryho (1797-1878).

e. Keď sa prúd  $I$  vo vodiči s časom mení, mení sa vo všeobecnosti aj magnetický indukčný tok  $\Phi$ , idúci cez plochu vodičom ohraničenú. Preto pri každej zmene prúdu vo vodiči dôjde k vzniku indukovaného elektromagnetického poľa.

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Indukovaná elektromotivita sa nazýva samoindukciou.

**72.** Objasnite fyzikálnu podstatu javu vzájomnej indukcie. Vysvetlite, čo je koeficient vzájomnej indukcie. Uveďte, v akých fyzikálnych jednotkách uvedený koeficient vyjadrujeme.

V prípade, ak sa v priestore nachádzajú dve prúdové slučky s elektrickými prúdmi  $I_1$  a  $I_2$ , bude magnetický tok  $\Phi_1$  cez plochu ohraničenú prvou slučkou súčtom vlastného toku  $\Phi_{11}$  a vzájomného magnetického toku  $\Phi_{12}$ , ktorý je na ploche ohraničenej prvou slučkou vytvorený magnetickým poľom generovaným elektrickým prúdom  $I_2$  v druhej slučke ,

$$\Phi_1 = \Phi_{11} + \Phi_{12} = L_{11}I_1 + L_{12}I_2 = L_1I_1 + MI_2,$$

kde  $L_{11} = L_1$

je vlastná indukčnosť prvej prúdovej slučky a  $L_{12} = M$  je vzájomná indukčnosť medzi prúdovými slučkami. Podobný vzťah platí pre magnetický tok  $\Phi_2$  na ploche ohraničenej druhou prúdovou slučkou

$$\Phi_2 = \Phi_{21} + \Phi_{22} = L_{21}I_1 + L_{22}I_2 = MI_1 + L_2I_2,$$

kde  $L_{22} = L_2$  je

vlastná indukčnosť druhej slučky a  $L_{21} = M$  je vzájomná indukčnosť medzi prúdovými slučkami. Vzájomná indukčnosť závisí od geometrických rozmerov, od vzájomnej orientácie slučiek a od permeability prostredia. Z posledných dvoch vzťahov pre vzájomnú indukčnosť  $M = L_{12} = L_{21}$  vyplýva .

$$M = L_{12} = L_{21} = \frac{\Phi_{12}}{I_2} = \frac{\Phi_{21}}{I_1}.$$

Konštanta úmernosti  $L_{12}$  vo vzťahu

$$\Phi_{12} = L_{12}I_1$$

nazýva sa *koefficientom vzájomnej indukcie* alebo stručnejšie len *vzájomnou indukčnosťou* medzi vodičom prvým a druhým. V dôsledku závislosti magnetického indukčného toku  $\Phi_{12}$  od prúdu  $I_1$  pri zmenách tohto prúdu indukuje sa vo vodiči druhom ems

$$e_{12} = - \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt}$$