

KOVÁCS ENDRE, PARIPÁS BÉLA,

## FIZIKA II.

5



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a  
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

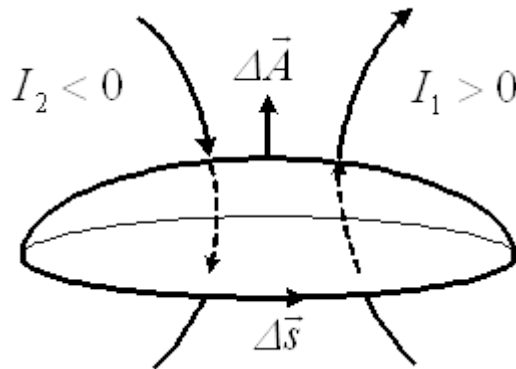
## V. MÁGNESES TÉR GERJESZTÉSE

### 1. AZ AMPÈRE-FÉLE GERJESZTÉSI TÖRVÉNY

Korábban említettük, hogy mozgó töltések mágneses mezőt hoznak létre. A mérési tapasztalatok alapján felállított **Ampère-féle gerjesztési törvény** vékony vonalas áramok esetén azt mondja ki, hogy a mágneses térerősség zárt görbére vett integrálja egyenlő a görbe által határolt tetszőleges felületen áthaladó áramok algebrai összegével:

$$\oint_{\mathcal{G}} \vec{H} d\vec{s} = \sum_j I_j$$

Az áramerősségek algebrai összegénél az előjelezésre azt a szabályt használjuk, hogy az az áram, amelyik a felületet a felület normálisának irányában dőfi pozitív, amelyik azzal ellentétesen dőfi, az pedig negatív. Megállapodás szerint, a peremgörbe körüljárási irányát és a felületi normális irányát a jobbcsvavar szabály kapcsolja össze.



A zárt görbe által körülfogott áramok előjelezése

Az Ampère-féle gerjesztési törvény írja le az áram és az általa gerjesztett mágneses mező közötti összefüggést. Tapasztalati tény, hogy a gerjesztési törvény akkor is érvényben marad, ha térben mágnesezhető anyagok vannak jelen. A gerjesztési törvény differenciális (lokális) alakja:  $\text{rot} \vec{H} = \vec{j}$ . A stacionárius áram mágneses mezeje tehát *nem örvénymentes*. Az áramba bele kell számítani nem csak a konduktív áramot (vezetési áram, ami pl. a fémekben folyik), hanem a konvektív áramot is. Tehát pl. pozitív ionok áramlanak vákuumban, akkor is mágneses tér gerjesztődik.

#### Hosszú egyenes vezető mágneses tere

Számoljuk ki egy végtelen hosszúnak tekintett vékony egyenes vezető mágneses terét, ha benne I áram folyik. Szimmetria-okokból következik, hogy a térerősség értéke csak a vezetőtől mért távolságtól függ. Az erővonalak körül fogják az áramot, tehát a vezetőre merőleges síkokban fekvő koncentrikus körök, középpontjukban a vezetővel. Ekkor, ha egy ilyen körvonal mentén integrálunk, a  $\vec{H}$  nagysága állandó, iránya párhuzamos az ívelemmel, így H kihozható az integráljel elé:

$$\oint_{\mathcal{G}} \vec{H} d\vec{s} = H \oint_{\mathcal{G}} ds = H \cdot 2r\pi = I,$$

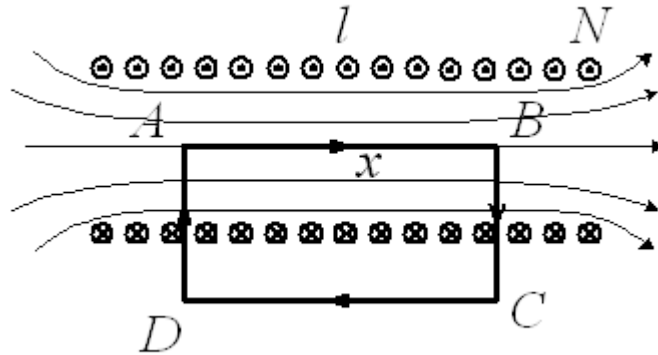
azaz

$$H = \frac{I}{2r\pi}$$

vagyis a mágneses tér erőssége a távolsággal fordítottan arányos.

#### Szolenoid mágneses tere

Tekintsünk egy, az átmérőjéhez képest hosszú, sűrűn csévelt hengeres tekercs mágneses terét. A mező homogénnek tekinthető a tekercs belsejében. A tekercs hosszát jelölje  $l$ , a menetszám legyen  $N$ , és legyen  $A$ , a keresztmetszet. Ekkor az egységnyi hosszra jutó menetek száma  $\frac{N}{l}$ . A tekercsben folyó áramerősség  $I$ . Egy alkalmasan megválasztott zárt görbére írjuk fel a gerjesztési törvényt. A zárt görbe legyen az ABCD téglalap,  $x$  az AB oldal hossza.



A szolenoid tekercs és mágneses mezeje

A zárt görbére történő összegzést felbonthatjuk négy nyílt görbére történő összegzésre:

$$\oint \vec{H} d\vec{s} = \int_A^B \vec{H} d\vec{s} + \int_B^C \vec{H} d\vec{s} + \int_C^D \vec{H} d\vec{s} + \int_D^A \vec{H} d\vec{s}$$

A téglalap esetében a DC szakaszon a tér közelítőleg nulla (mivel hosszú és vékony a tekercs), az AD és a BC szakaszon pedig a tér iránya merőleges a görbére, így az összeg csak az AB oldalra nem tűnik el. Ebből:

$$Hx = \frac{N}{l} x I, \text{ azaz } H = \frac{NI}{l}, \text{ így a mágneses indukció:}$$

$$B = \mu \frac{NI}{l}.$$

Vagyis a mágneses indukció a tekercs belsejében az egységnyi hosszra eső menetszámmal arányos.

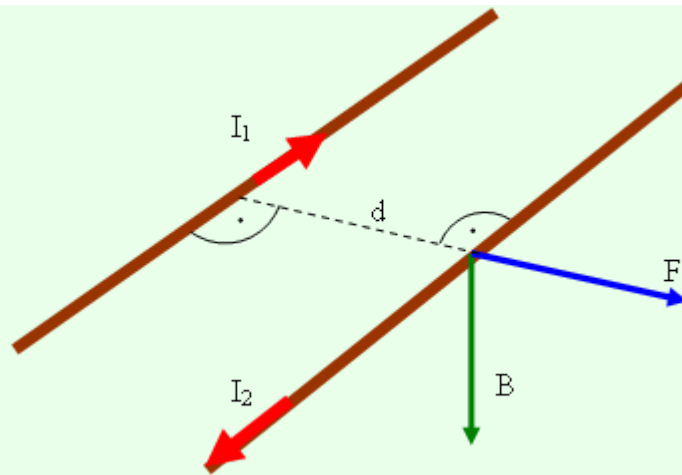
#### SZÁMOLÁSI FELADAT

**Feladat:** Mekkora erővel hat egymásra két 12m hosszú és egymástól a levegőben 10cm távolságra lévő gyűjtősín rövidzárlat idején, ha azokban a zárlati áram 20kA értékű ( $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs/Am}$ )?

Megoldás: Mivel a két sín hossza jóval nagyobb, mint a távolságuk, a mágneses tér számításakor a végtelen hosszú egyenes vezető mágneses terére vonatkozó  $H = \frac{I}{2r\pi}$  közelítést használjuk, tehát az egyik sínben

folyó áram által gerjesztett mágneses indukció értéke a másik sín helyén:  $B = \frac{\mu_0 I_1}{2r\pi}$ . Az ábrán a jobb oldali

sín helyén  $\vec{B}$  lefelé mutat.



A másik sínrre az Ampere-erő hat, melynek értéke:  $F = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi r} \cdot l$ . Mivel mindkét sírben azonos a zárlati áram értéke, ezért  $I_1 \cdot I_2 = I^2$ . Tehát a fellépő erő:  $F = 9600\text{N}$ . A bal oldali sínrre ható erő az ábrán jobbra mutat, a jobb oldalira nyilván balra hat az Ampere-erő. Általános is igaz, hogy párhuzamos vezetők vonzzák egymást, ha azonos irányban folyik bennük az áram és taszítják, ha ellentétes irányban folyik.

### Határfeltételek (peremfeltételek)

A mágneses Gauss-törvényből és az Amper-féle gerjesztési törvényből levezethető, hogyan viselkednek a mágneses mennyiségek két közeg határfelületén:

$$H_{1t} = H_{2t},$$

azaz a két közeg határán a mágneses térerősség tangenciális koordinátája folytonos (ez csak akkor igaz, ha nincsenek a felületben folyó áramok) és

$$B_{1n} = B_{2n},$$

azaz a két közeg határán a mágneses indukció normális koordinátája folytonos. Az elektromos indukcióvektor normális koordinátája a határfelületen azért szenvedett ugrást, mert ott elektromos töltések voltak. Mágneses töltések nincsenek, ezért a mágneses indukció normális koordinátája a két felület határán folytonos.