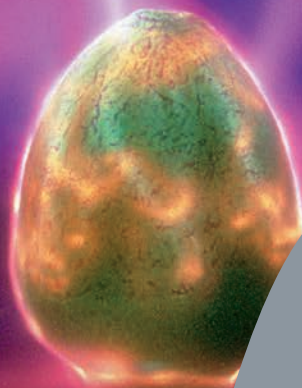


FIZIKA

10

ELEKTROMOSSÁGTAN
HŐTAN

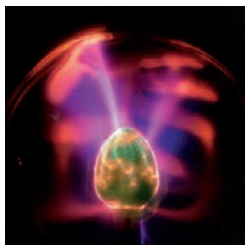


f



A TERMÉSZETRŐL TIZENÉVESEKNEK

A TERMÉSZETRŐL TIZENÉVESEKNEK



FIZIKA

Hőtan
Elektromosságtan **10**

17., VÁLTOZATLAN KIADÁS

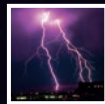
MOZAIK KIADÓ – SZEGED, 2019



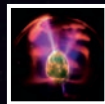
I. fejezet
HŐTAN



II. fejezet
ELEKTROSZTIKA



III. fejezet
**AZ ELEKTROMOS ÁRAM,
VEZETÉSI JELENSÉGEK**



IV. fejezet
**A MÁGNESES MEZŐ,
ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ**





Tartalom

HŐTAN

1. Hőtani alapjelenségek	10
1.1. Emlékeztető	10
1.2. A szilárd testek hőtágulásának törvényszerűségei	12
1.3. A folyadékok térfogati hőtágulása	16
2. Gázok állapotváltozásai	19
2.1. Emlékeztető. Állapotjelzők, állapotváltozások	19
2.2. Gázok állapotváltozása állandó nyomáson (izobár állapotváltozás)	21
2.3. Gázok állapotváltozása állandó térfogaton (izochor állapotváltozás)	25
2.4. Gázok állapotváltozása állandó hőmérsékleten (izotermikus állapotváltozás)	27
2.5. Az ideális gázok állapotváltozása, állapotegyenlete	30
3. Molekuláris hőelmélet	34
3.1. Emlékeztető	34
3.2. A gázok állapotváltozásainak molekuláris értelmezése	35
3.3. A gázok belső energiája, a hőtan I. főtétele	39
3.4. A gázok állapotváltozásainak energetikai vizsgálata	42
3.5. A termikus folyamatok iránya, a hőtan II. főtétele	48
4. Halmazállapot-változások	50
4.1. A halmazállapot-változások energetikai vizsgálata	50
4.2. A halmazállapot-változások molekuláris értelmezése	53
Összefoglalás	60

ELEKTROSZTIKA

1. Elektrosztatikai alapismeretek	64
1.1. Emlékeztető	64
2. Coulomb törvénye. A töltésmegmaradás törvénye	69
3. Az elektromos mező jellemzése	72
3.1. Az elektromos térerősség	72
3.2. Az elektromos mező szemléltetése erővonalakkal	75
3.3. Az elektromos mező munkája. Az elektromos feszültség	78
4. Elektromos töltések, térerősség, potenciál a vezetőn	82
5. A kondenzátor. Az elektromos mező energiája ..	86
6. Kondenzátorok kapcsolása (kiegészítő anyag) ...	91
Összefoglalás	92

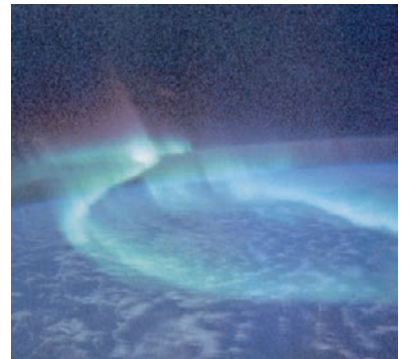
Tartalom

AZ ELEKTROMOS ÁRAM, VEZETÉSI JELENSÉGEK

1. Egyenáram. Áramkörü alaptörvények	94
1.1. Emlékeztető	94
1.2. Az áramkörü alapmennyiségek. Ohm törvénye	97
1.3. Mitől függ a fémes vezető ellenállása?	102
1.4. Az elektromos munka, teljesítmény és hőhatás	107
1.5. Fogyasztók soros kapcsolása	110
1.6. Fogyasztók párhuzamos kapcsolása	113
1.7. A fogyasztók soros és párhuzamos kapcsolásának gyakorlati alkalmazásai	116
1.8. Áramforrások modellezése. Üresjárású feszültség, belső ellenállás (kiegészítő anyag)	120
2. Vezetési jelenségek	124
2.1. Elektromos áram folyadékokban. Az elemi töltés meghatározása	124
2.2. Elektromos áram gázokban és vákuumban ..	126
2.3. Elektromos áram félvezetőkben	129
2.4. Félvezető eszközök	131
Összefoglalás	135

A MÁGNESES MEZŐ, ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ

1. A mágneses mező	138
1.1. Emlékeztető	138
1.2. A mágneses indukcióvektor, indukcióvonalak, fluxus	141
1.3. Egyenes áramvezető és tekercs mágneses mezője	146
1.4. Elektromágnesek a gyakorlatban	150
1.5. A mágneses mező hatása mozgó töltésekre ..	153
2. Elektromágneses indukció	159
2.1. A mozgási elektromágneses indukció	159
2.2. Nyugalmi elektromágneses indukció	165
2.3. Az önindukció. A mágneses mező energiája ..	169
3. A váltakozó feszültségű áramkörök	173
3.1. A váltakozó feszültség előállítás és tulajdonságai	173
3.2. Ellenállások a váltakozó áramú áramkörben (kiegészítő anyag)	179
3.3. Teljesítmény a váltakozó áramú áramkörben (kiegészítő anyag)	182
3.4. A transzformátor	185
3.5. Elektromos balesetvédelem és elsősegélynyújtás	189
Összefoglalás	194





„... teljes meggyőződésem,
hogy a magasabb tudomány kifejlődése
csak ott lehetséges, hol ezen
magasabb tudomány egy művelt népnek
egészséges talaján nyugszik.”

Eötvös József

A TANKÖNYV HASZNÁLATÁT SEGÍTŐ JELZÉSEK

Sárga mezőbe a legfontosabb szabályokat, törvényeket, illetve a mennyiségi fogalmak meghatározását és kiszámítási módját tettük.

Vastag betűkkel a fontos megállapításokat és az új fogalmak nevét írtuk. A középszintű érettségi vizsga követelményeiben szereplő szakszavakat *-gal, az emelt szintűt pedig **-gal jelöli a könyv.

Bal oldali piros sávval hívjuk fel a figyelmet a kísérletekre, amelyek megismerése és megértése nélkül nem lehet feldolgozni a tananyagot.

Az egyes fejezeteket elmélyítő kisebb terjedelmű kiegészítő anyagot a bal oldali szürke sávról és a kisebb méretű betűkről ismerhetjük fel.

Az ábrák a szövegben leírtak könnyebb és jobb megértését segítik elő. Ezért célszerű együtt kezelni a szöveget és a hozzá tartozó ábrákat.

M A *Megjegyzések* olyan gondolatok, amelyek nem tartoznak közvetlenül a tananyag logikai rendjébe, de fontos kiegészítői, értelmezői, elmélyítői annak.

G A *Gondolkodtató kérdések* valójában számolás nélkül megoldható feladatok.

F A *Feladatok* megoldásával elmélyíthetjük, jobban megérthetjük és alkalmazhatjuk az elméleti tananyagot.

O Az *Olvasmányok* a természet, a technika, valamint a fizikátörténet érdekességeivel foglalkoznak. Betekintést adnak néhány természetkutató szellemi óriás életébe és munkásságába.

Kedves Diákok!

A fizika tudománya a természetről szerzett tapasztalatokat rendszerezi, meghatározva ezekben a törvényszerű összefüggéseket. A fizikai ismeretek bővítése ezért elsősorban azt igényli, hogy **tudatos megfigyelésekkel, kísérletekkel** gyarapítsuk a természetről szerzett tapasztalatainkat. A tankönyv hőtani és elektromosságtani fejezetei egyaránt sok érdekes kísérlet élményét kínálják.

Ha a természettudományok vagy a műszaki tudományok mélyebb titkaival akarunk megismerkedni, netalán újabb titkokat tudósként felfedezni, akkor használnunk kell a matematika nyelvét a természet fizikai törvényeinek pontos leírására.

Gyakran hisszük azt, hogy a tanórán megértett anyagot már tudjuk is, pedig csak a tartós, felhasználásra alkalmas tudás az igazi. Ehhez **fontos a tanóra után a megfelelő anyagrész figyelmes elolvasása, a lényeg kiemelése, a gondolkodtató kérdésekkel és a feladatokkal való foglalkozás.** Ezért törekedtünk arra, hogy a könyv önállóan is használható legyen, hogy az a diák is megtanulhassa a tananyagot, aki az adott fizikaórán éppen nem volt jelen, vagy az órai gondolatmenetet nem tudta megfelelően követni.

A megtanult ismeretek, módszerek nemcsak azok számára hasznosak, akik természettudományi vagy műszaki pályára készülnek, hanem arra is szolgálhatnak, hogy képesek legyünk bárhol használni a fizikaórákon megtanult észjárását, és otthon érezzük magunkat a természet és a modern technika világában.

A hőtan és az elektromosságtan tanulmányozásához kitartó türelmet, örömteli munkát és megérdemelt sikert kívánnak

e tankönyv Szerzői.

I. fejezet



HŐTAN



3.3. A gázok belső energiája, a hőtan I. főtétele

AZ IDEÁLIS GÁZOK BELSŐ ENERGIÁJA

A gyakorlatban sok helyen használjuk fel a gázokat munkavégzésre, a környezetünk megváltoztatására (gőzgép, robbanómotor, légfék, légkapa-pács stb.).

A nyugvó gázok is rendelkeznek energiával, amely a részecskék hőmozgásával kapcsolatos. Ezt az energiát a gázok **belső energiájának** nevezzük.

Mi határozza meg az ideális gázok belső energiáját a részecskemodell szerint?

Induljunk ki a részecskemodell alábbi alapfeltevéseiből:

- a részecskéket pontszerűnek tekintjük,
- a részecskék rendezetlen mozgást végeznek,
- egymással és az edény falával rugalmasan ütköznek.

Ezen feltevések alapján nyilvánvaló, hogy az **ideális gáz belső energiáját a részecskék rendezetlen mozgásából származó mozgási energiák összege adja.**

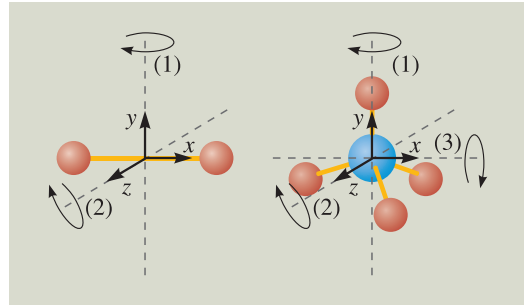
A korábbiakban láthattuk, hogy a gázok hőmérsékletének növekedése a részecskék intenzívebb hőmozgásával jár együtt. Ez viszont azt jelenti, hogy magasabb hőmérsékleten nagyobb a részecskék átlagsebessége, és így az ϵ_m **átlagos mozgási energiája**** is. ($\epsilon = \frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot v_{\text{átl.}}^2$, ahol m_0 egy részecske tömege.)

A részecskemodell alapján matematikailag levezethető, hogy az ideális gáz részecskéinek ϵ átlagos mozgási energiája egyenesen arányos a gáz abszolút hőmérsékletével, ahol az arányossági tényező a k Boltzmann-állandó $\frac{3}{2}$ -szerese:

$$\epsilon_m = \frac{3}{2} \cdot k \cdot T.$$

A modell szerint az egyatomos gázok (ilyenek a nemesgázok) pontszerű részecskékből állnak. Az N részecskéből álló gáz teljes mozgási energiáját (az E_b belső energiát) megkapjuk, ha az ϵ átlagos energiát megszorozzuk a részecskék N számával azaz:

$$E_b = N \cdot \epsilon = N \cdot \frac{3}{2} \cdot k \cdot T.$$



39.1. Két- és többatomos molekula modellje 2, illetve 3 lehetséges forgástengellyel

Ha a gáz két- vagy többatomos molekulákból tevődik össze, akkor a molekuláknak a mozgási energián kívül forgási energiájuk is van. Ugyanis a többatomos molekulák, mint parányi súlyzók, egymásra merőleges tengelyek körül foroghatnak is.

Az atomok rendezetlen mozgása csak haladó mozgásból, a molekuláké pedig haladó és forgómozgásból tevődik össze.

A háromdimenziós haladó mozgásnak 3 **szabadsági foka**** van. A forgómozgásnál – a forgástengelyek számától függően – 2 vagy 3 a szabadsági fokok száma. Így az egyatomos gázoknak (nemes gázok) $f=3$ a szabadsági fok száma. A kétatomos gázoknak $f=3+2=5$ szabadsági foka van. (A három és annál több atomos gázoknak $f=3+3=6$ szabadsági foka is lehet.)

A gáزرészecskék teljes átlagos energiáját

$\epsilon = \frac{f}{2} \cdot k \cdot T$ alakban írhatjuk fel.

Az N részecskéből álló gáz belső energiája:

$$E_b = N \cdot \epsilon = N \cdot \frac{f}{2} \cdot k \cdot T.$$

Ha figyelembe vesszük az ideális gázokra vonatkozó állapotegyenlet különböző alakjait, akkor a belső energia felírható az alábbi formákban is:

$$E_b = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k \cdot T = \frac{f}{2} \cdot p \cdot V;$$

$$E_b = \frac{f}{2} \cdot \frac{m}{M} \cdot R \cdot T.$$

A HŐTAN I. FŐTÉTELE

Hogyan tudjuk egy adott gázmennyiség E_b belső energiáját megnövelni? Ehhez a részecskék átlagos sebességét kell növelnünk, amire kétféle lehetőség kínálkozik:

- a) A gázt úgy melegítjük, hogy magasabb hőmérsékletű környezettel hozzuk termikus kölcsönhatásba.

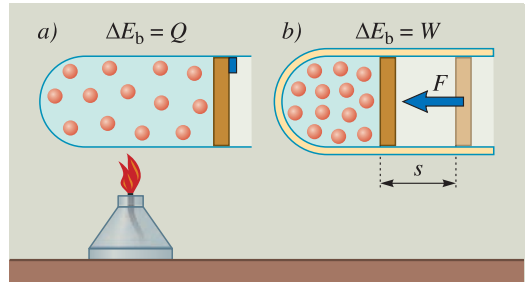
A melegebb környezet nagy sebességű részecskéi először az edény falában, majd a gázban is nagyobb átlagsebességű mozgást hoznak létre, amit a hőmérséklet emelkedéseként észlelünk.

A termikus kölcsönhatással átadott energiát **hőmennyiségnek*** nevezzük, és Q -val jelöljük.

- b) Összenyomjuk a gázt, ami szintén a részecskék átlagos sebességének növekedését eredményezi.

Egy dugattyúval elzárt hengeres edényben az álló dugattyúval ütköző részecskék sebességének nagysága a rugalmas visszapattanásnál nem változik (hasonlóan a falról visszapattanó labdához). Összenyomás közben viszont a befelé (a részecskékkel szemben) haladó dugattyúról nagyobb sebességgel pattannak vissza a részecskék. Ezzel növekszik a részecskék átlagos sebessége, nő a hőmérséklet és a belső energia.

A gáz összenyomásakor erőt fejtünk ki bizonyos úton, tehát munkát végzünk. A mechanikai kölcsönhatással átadott energiát a W munka adja meg.



40.1. Hogyan növelhető a gáz belső energiája?

A kétféle módon történő energiaváltoztatás fordított irányban is lejátszódhat. Ha a gáz ad le hőt a hidegebb környezetének, akkor a Q hőmennyiség negatív, a gáz E_b belső energiája csökken.

Ugyanígy csökken a gáz E_b belső energiája, ha a gáz tágul (a távolodó dugattyúról kisebb sebességgel pattannak vissza a részecskék). Ilyenkor a gázon végzett W munka negatív, mivel a dugattyúra ható külső erő iránya ellentétes az elmozdulással.

Az energia megmaradásának tétele szerint:

A gáz belső energiájának megváltozása egyenlő a gázzal közölt Q hőmennyiség és a gázon végzett W mechanikai munka előjeles összegével, vagyis:

$$\Delta E_b = Q + W.$$

Ezt nevezzük a hőtán I. főtételeknek.

m MEGJEGYZÉSEK

1. A kétatomos molekuláknál az atomokat összekötő tengely körüli forgás nem eredményez forgási energiát, mivel az atomok pontszerűek. Ezért itt a forgómozgás szabadsági fokának megállapításánál a súlyzó középpontján átmenő, a súlyzó rúdja és egymásra is merőleges két tengelyt kell csak számba venni (39.1. ábra).
2. A belső energiába **nem számítjuk bele** a makroszkopikus testek – rendezett mozgásából eredő – **mozgási energiáját** és a különböző fizikai mezőkben (gravitációs, elektromos) meglévő **külső potenciális energiáját**.
3. A hőtán első főtétele nemcsak a gázokra, hanem minden testre érvényes, ezért úgy tekinthető, mint az energiamegmaradás törvényének általánosítása. A súrlódással járó mozgásoknál a mechanikai energiák összege nem állandó, hanem csökken. A hiányt okozó súrlódási munkavégzés azonban nem vesz el, hanem a kölcsönhatásban lévő testek belső energiáját növeli.

4. A fizikusoknak sokáig téves elképzelése volt a hő (hőmennyiség) fogalmáról. Azt gondolták, hogy melegítésnél a melegebb testből valamilyen láthatatlan „hőfolyadék” jut át a hidegebb testbe. Anyagszerkezeti ismeretek hiányában nem tudhatták, hogy a hőátadás valójában a részecskék rendezetlen mozgásának átadását jelenti. *Joule* angol fizikus volt az, aki a 19. sz. közepén mérésekkel meghatározta a mechanikai munka és a hőmennyiség, valamint az elektromos munka és a hőmennyiség közötti megegyező kapcsolatot. Ezzel jelentősen hozzájárult az energiamegmaradás törvényének felismeréséhez. *Joule* nevét viseli az energia és a munka mértékegysége.



41.1. *James Prescott Joule*
(1818–1889)

g GONDOLKODTATÓ KÉRDÉSEK

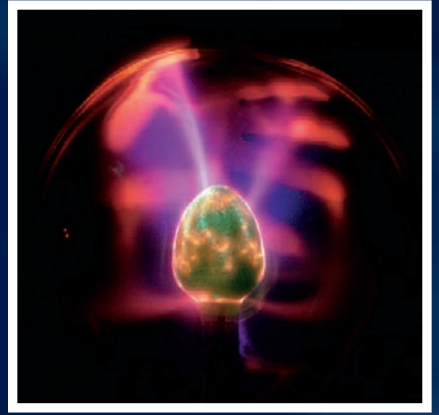
1. Hogyan változik meg a gáz belső energiája, ha egy adott – elég magas – hőmérsékleten a kétatomos gázmolekulák egy része atomokra esik szét?
2. Hasonlítsuk össze egy adott hőmérsékletű levegőben található O_2 -, N_2 - és H_2 -molekulák átlagos sebességét!
3. Lehet-e egy gáz belső energiája zérus vagy negatív érték?
4. Hogyan változik meg a szobában lévő levegő belső energiája, ha befűtünk?
5. Mondjunk példát arra, hogy egy gáz egyszerre kerül más testekkel – a belső energiáját megváltoztató – termikus és mechanikai kölcsönhatásba!
6. Előfordulhat-e, hogy a kettős kölcsönhatásban részt vevő gáz felmelegszik annak ellenére, hogy a termikus kölcsönhatáskor energiát ad át egy másik testnek? Ha igen, mondjunk rá példát! (Hűtjük, és mégis melegszik.)
7. Előfordulhat-e, hogy a kettős kölcsönhatásban részt vevő gáz lehül annak ellenére, hogy termikus módon energiát vesz fel egy másik testtől? (Melegítjük, és mégis lehül.)

f FELADATOK

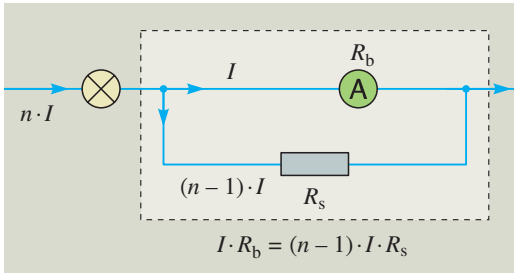
1. Mekkora a belső energiája 1 mólnyi normál állapotú egyatomos, illetve kétatomos gáznak?
2. Becsüljük meg egy $4\text{ m} \times 5\text{ m} \times 3\text{ m}$ méretű szobában lévő levegő belső energiáját!
3. Egy szoba szellőztetése során a szobában lévő szilárd anyagok és folyadékok belső energiája csökkent. Hogyan változott meg a szoba levegőjének belső energiája?
4. Mennyivel változik meg 1 mól kétatomos ideális gáz belső energiája, ha hőmérséklete 3 K-nel növekszik?
5. 5 mól normál állapotú, egyatomos ideális gáz belső energiája melegítés során 10%-kal nő. Mekkora a gáz hőmérséklete melegítés végén? Mekkora a belsőenergia-növekedése?
6. Egy dugattyúval elzárt hengerben a levegőt lassan nyomjuk össze úgy, hogy közben a levegő hőmérséklete ne változzon! A munkavégzés 100 J. Történt-e az összenyomás során a gáz és a környezete között hőcsere, ha igen, akkor mekkora ennek mértéke?
7. Keressünk irodalmat, és olvassunk Joule életéről és munkásságáról!

III. fejezet

AZ ELEKTROMOS ÁRAM, VEZETÉSI JELENSÉGEK



1.7. A fogyasztók soros és párhuzamos kapcsolásának gyakorlati alkalmazásai

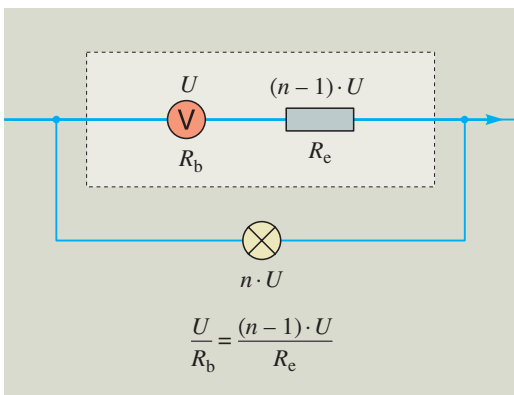


116.1. Ampermérő méréshatárának növelése

AMPERMÉRŐ MÉRÉSHATÁRÁNAK KITERJESZTÉSE*

Legyen egy árammérő alaplámpa méréshatára I . Ez azt jelenti, hogyha I erősségű áram folyik át a műszer tekercsén, akkor a tekercs a mutató végkitéréséig fordul el. Hogyan tudjuk a műszer méréshatárát n -szeresre növelni, vagyis elérni, hogy a műszer mutatója akkor kerüljön végkitérésbe, ha a vizsgált fogyasztón $n \cdot I$ erősségű áram folyik?

Ha az alaplámpát nem akarjuk átalakítani, akkor azon továbbra is maximálisan I erősségű áram folyhat. A maradék $(n - 1) \cdot I$ áramerősséget a fogyasztó után el kell ágaztatnunk az alaplámpával párhuzamosan kapcsolt úgynevezett söntellenállás (R_s) felé. Ahhoz, hogy a fogyasztó árama a kívánt arányban oszódjon, a söntellenállást $(n - 1)$ -szer kisebbre kell választanunk az alaplámpa R_b belső ellenállásánál.



116.2. Voltmérő méréshatárának növelése

Az elágaztatás a műszer dobozán belül történik, ezért úgy látjuk, hogy végkitérésben $n \cdot I$ áramerősség halad át a műszeren is.

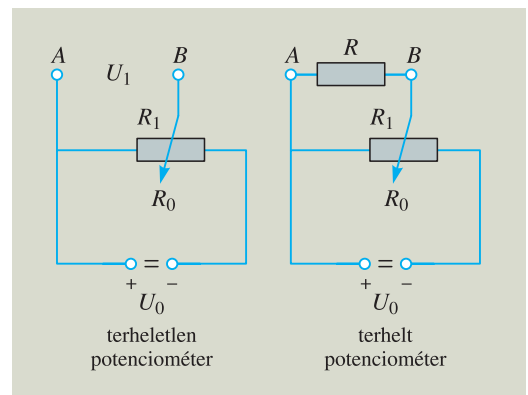
VOLTMÉRŐ MÉRÉSHATÁRÁNAK KITERJESZTÉSE

Legyen egy feszültségmérő alaplámpa méréshatára U . Ez azt jelenti, hogy a mutató végkitérésénél U feszültség esik a műszer tekercsén. Azt szeretnénk, hogy a mutató csak akkor térjen ki teljesen, ha a vizsgált fogyasztó feszültsége $n \cdot U$. Ez elérhető úgy, hogy az alaplámpával, a műszert tartalmazó dobozon belül, sorosan kapcsolunk egy előtét-ellenállást (R_c). Az így kiegészített műszert használjuk voltmérőként. R_b ellenállású alaplámpával $(n - 1) \cdot R_b$ ellenállású előtét-ellenállást kell sorosan kapcsolni. Így a fogyasztó $n \cdot U$ feszültségéből $(n - 1) \cdot U$ az előtét-ellenállásra, U pedig az alaplámpa tekercsére esik.

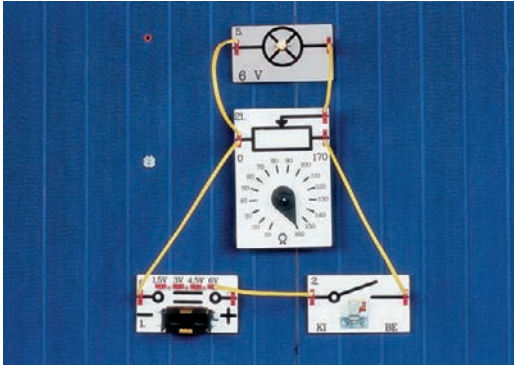
POTENCIOMÉTER (FESZÜLTÉGOSZTÓ)*

A változtatható ellenállás értéke legyen R_0 . A végpontjaihoz kapcsolt áramforrás feszültsége megoszlik a csúszkától a végpontokig terjedő két részen, azok ellenállásának arányában. Az AB kivezetéseken mérhető feszültség:

$$U_1 = U_0 \cdot \frac{R_1}{R_0}$$



116.3. Hogyan növelhetjük a potenciométer U_1 kimeneti feszültségét?

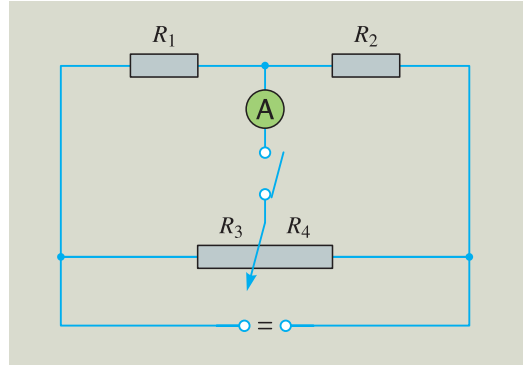

117.1. Izzó fényerejének szabályozása potenciométerrel

A csúszka elmozdításával (R_1 változtatásával) változik az AB kivezetéseken mérhető feszültség is. Az ilyen feszültségosztót nevezik potenciométernek.

Ha a potenciométert terheljük (a kivezetéseire R ellenállású fogyasztót kapcsolunk), lecsökken a kimeneti U_1 feszültség. Ilyenkor ugyanis a potenciométer R_1 ellenállású részét párhuzamosan kapcsoljuk az R ellenállású fogyasztóval. Ezek párhuzamos eredője kapcsolódik sorosan a potenciométer másik részével ($R_0 - R_1$ -gyel).

A WHEATSTONE-FÉLE MÉRŐHÍD**

Ha a 117.2. ábra áramkörében a kapcsoló nyitott, akkor a kapcsolás két párhuzamos ágat tartalmaz, amelyek mindegyikében két-két ellenállás kapcsolódik sorosan. Ilyenkor az áramforrás feszültsége mindegyik ágon az ellenállások arányában oszlik meg.


117.2. Wheatstone-híd [vizshton]

Ha az ellenállások aránya az áramkör különböző ágaiban

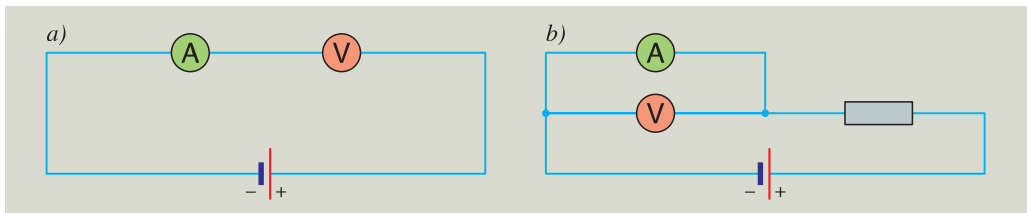
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

akkor a párhuzamos ágakat összekötő híd végpontjai azonos potenciálúak. Ekkor a kapcsoló zárásakor a műszer nem jelez áramot. Ha a fenti arány nem teljesül, a kapcsoló zárásakor a műszeren áram folyik.

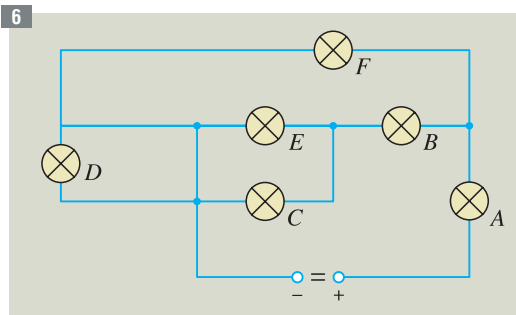
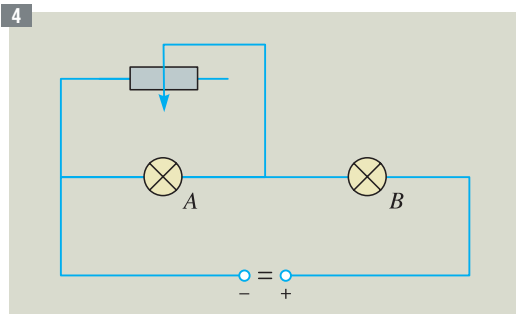
Az R_3 és R_4 ellenállások aránya a potenciométerrel változtatható. Legyen R_1 a mérendő ellenállás. A mérőhíd potenciométerének állását addig változtatjuk, amíg a hídban folyó áram zérusra nem csökken. Ekkor a fenti ellenállásarányra vonatkozó összefüggésből az ismeretlen ellenállásérték kiszámítható. Mivel a leolvasás árammentes műszernél történik, ezért a műszer saját belső ellenállása nem hamisítja meg a mérési eredményt. Így ez a mérési eljárás rendkívül pontos.

GONDOLKODTATÓ KÉRDÉSEK

1. Hogyan változik az ampermérő belső ellenállása a méréshatár kiterjesztésekor? (116.1. ábra)
2. Hogyan változik a voltmérő belső ellenállása a méréshatár kiterjesztésekor? (116.2. ábra)
3. Mit határozhatunk meg az alábbi kapcsolások szerint a voltmérő által jelzett felszültség és az ampermérő által jelzett áramerősség hányadosaként?

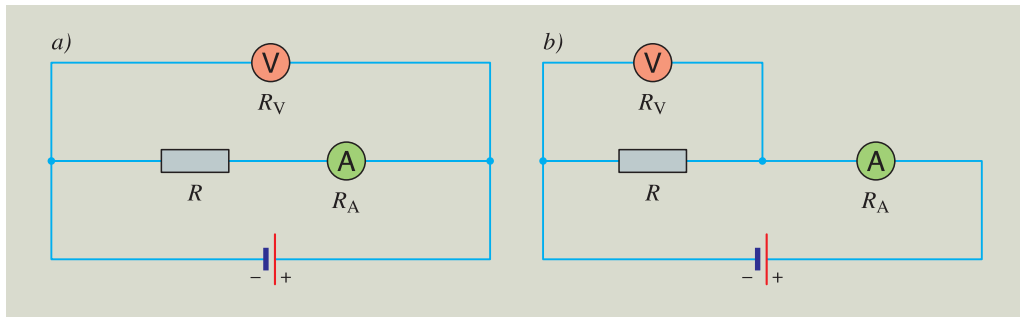


4. Két egyforma izzót (A és B) kapcsoljunk sorosan egy áramforrás áramkörébe! Az egyik izzóval (A) párhuzamosan kössünk az áramkörbe egy változtatható ellenállást! Hogyan változik az izzók fényereje, ha a változtatható ellenállás értékét folyamatosan csökkentjük?
5. Kiegyenlített Wheatstone-hídban felcseréljük az áramforrást és a mérőműszert. Kitér-e a műszer mutatója?
6. Adjuk meg a kapcsolási rajzon szereplő egyforma izzók növekvő fényerősség szerinti sorrendjét!
7. A 117.2. ábra szerinti Wheatstone-hídon zárt kapcsolóállásnál akkor nem folyik áram (kiegyenlített Wheatstone-híd), ha a huzal potenciométer-mutatója az 50. skálabeosztásnál áll. A skála egyenletes beosztása balról jobbra 0-tól 250-ig terjed. Mit mondhatunk az R_1 és az R_2 ellenállás értékéről?



f FELADATOK

1. Egy R ellenállású fogyasztón lévő feszültséget és a rajta átfolyó áram erősségét egyidejűleg mérjük. A mért értékekből számítjuk az R ellenállást. Az alábbi két kapcsolás közül melyik ad pontosabb eredményt?



MEGOLDÁS:

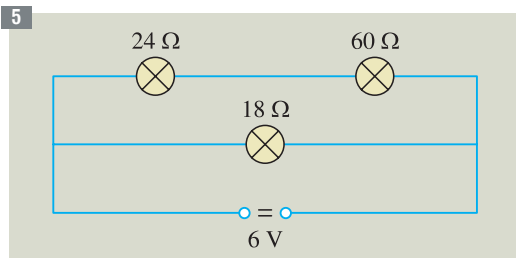
Az a) ábrán a mért áramerősség valóban az R ellenálláson folyik át. A mért feszültség viszont nem az R ellenálláson, hanem az R ellenállás és az ampermérő R_A ellenállásának soros eredőjén esik. Az utóbbi érték annál inkább közelíti meg az R ellenálláson lévő feszültséget, minél kisebb R_A az R -hez képest. Ez a kapcsolás tehát $R_A \ll R$ esetén ajánlatos.

A b) ábrán a voltmérő mutatja helyesen az R ellenálláson eső feszültséget. Az ampermérő viszont az R ellenálláson és a vele párhuzamosan kapcsolt voltmérő R_V ellenállásán folyó áramok összegét méri. Ez az áramerősség annál inkább egyezik meg az R ellenállás áramerősségével, minél nagyobb az R_V az R értékéhez képest. Ez a kapcsolás $R_V \gg R$ esetén javasolható.

2. Egy alpműszer belső ellenállása 100 ohm. A mutató végkiterítésénél 1 mA-es áram folyik át a műszer tekercsén.
- Hogyan készíthetünk ebből az alpműszerből 50 mA méréshatárú ampermérőt?
 - Mekkora ellenállást képvisel a kiterjesztett méréshatárú műszer?
3. Egy 100 mV méréshatárú, 100 ohm belső ellenállású alpműszerből 5 V méréshatárú voltmérőt akarunk készíteni.
- Hogyan valósíthatjuk ezt meg?
 - Mennyi lesz a kiterjesztett méréshatárú voltmérő belső ellenállása?
4. Egy alpműszer méréshatára 2 mA vagy 80 mV.
- Hogyan készíthetünk belőle 0,2 A méréshatárú ampermérőt?
 - Hogyan készíthetünk belőle 10 V méréshatárú voltmérőt?

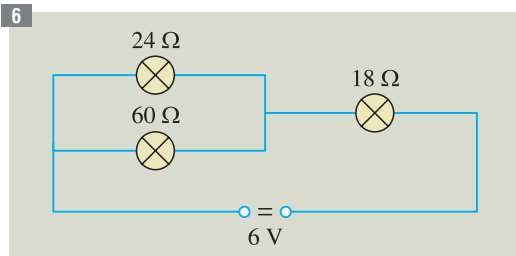
5. Egy $24\ \Omega$, egy $60\ \Omega$ és egy $18\ \Omega$ ellenállású izzót az ábra szerint egy 6 V-os telepre kapcsolunk.

- Számítsuk ki a kapcsolásban szereplő izzók és az áramforrás teljesítményét!
- A $24\ \Omega$ ellenállású izzót előbb ideális ampermérővel, majd ideális voltmérővel helyettesítjük. Mit mutatnak a műszerek?



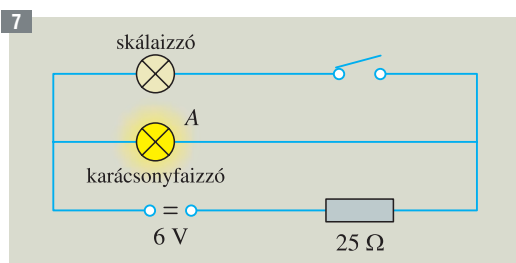
6. Egy $24\ \Omega$, egy $60\ \Omega$ és egy $18\ \Omega$ ellenállású izzót az ábra szerint egy 6 V-os telepre kapcsolunk.

- Számítsuk ki a kapcsolásban szereplő izzók és az áramforrás teljesítményét!
- A $60\ \Omega$ ellenállású izzót előbb ideális ampermérővel, majd ideális voltmérővel helyettesítjük. Mit mutatnak a műszerek?



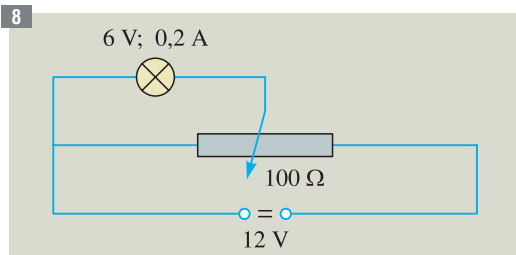
7. Állítsuk össze az ábra szerinti kapcsolást, és figyeljük meg, hogy a kapcsoló zárásakor az A jelű izzó fényereje csökken!

- Adjunk magyarázatot a tapasztalt jelenségre!
- Mit várunk, ha az áramkörben $25\ \Omega$ helyett kisebb ellenállást alkalmazunk?



8. Egy 6 V; 0,2 A feliratú izzót 12 V-os áramforrásról 100 ohmos feszültségosztó (potencióméter) segítségével akarunk működtetni.

- Hová állítsuk a potencióméter csúszkáját?
- Az áramforrás által leadott energia hány százaléka jut az izzóra?



IV. fejezet

A MÁGNESES MEZŐ, ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ



2. Elektromágneses indukció

2.1. A mozgási elektromágneses indukció

AZ INDUKÁLT FESZÜLTÉG

Már általános iskolai tanulmányaink során tapasztaltuk, hogy mágnes és tekercs közelítésekor és távolításakor a tekercshez kapcsolt voltmérő mutatója ellenkező irányban tér ki.

Vizsgáljuk meg most ismét ezt a jelenséget, és keressünk magyarázatokat a tapasztalatainkra!

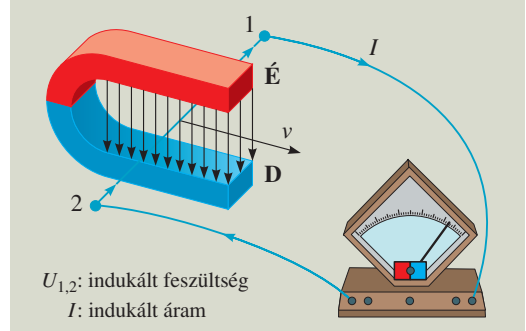
Egyenes vezető végeit kössük érzékeny árammérőhöz (galvanométerhez)! Ha a vezető egy darabját mágnespatkó sarkai között mozgatjuk, a galvanométer áramot jelez minden olyan esetben, amikor a vezető metszi a mágneses mező indukcióvonalait.

Nagyobb áramot kapunk, ha erősebb mágneses mezőben mozog a vezető, ha nagyobb a vezető sebessége vagy a mágneses mezőben mozgó vezetőszakasz hossza.

A vezető hosszát növelhetjük úgy, hogy tekercset használunk. A tekercset és a mágnest egymáshoz képest mozgatva már kevésbé érzékeny műszer is jelzi a létrejött áramot.

Ha egy vezető úgy mozog valamely mágneses mezőhöz viszonyítva, hogy metszi annak (képzeltbeli) indukcióvonalait, akkor a vezető végei között elektromos feszültség, zárt vezetőkör esetén pedig elektromos áram jön létre. A keletkezett feszültséget indukált feszültségnek, az áramot indukált áramnak nevezzük. Az egész jelenség neve: mozgási elektromágneses indukció* (röviden: mozgási indukció).

A mágneses mezőhöz képest mozgó vezetővel együtt mozognak a benne lévő töltések is. A mozgó töltésekre ható Lorentz-erő választja szét a vezetőben a pozitív és negatív töltéseket, és hozza létre az indukált feszültséget.



159.2. Mozgási elektromágneses indukció. Indokoljuk az áramirányt!

Mérésekkel és elméleti úton is igazolható, hogy **az indukált feszültség (U) egyenesen arányos**

- a mágneses indukcióval (B),
- a vezető hosszával (l),
- a mozgás sebességével (v).

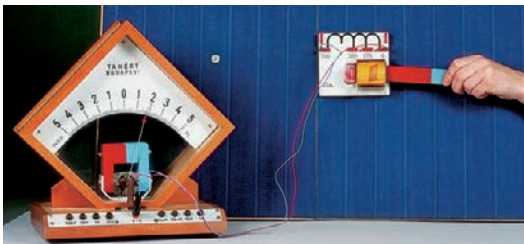
Ha B , l és v egymásra merőlegesek, az indukált feszültség nagysága:

$$U = B \cdot l \cdot v.$$

Ha a merőlegesség nem teljesül, akkor a vektoroknak azon összetevőivel kell számolni, melyek megfelelnek a kölcsönös merőlegesség feltételének.

Használjuk fel, hogy $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$! Ezzel átalakítható az előbbi összefüggés:

$$U = B \cdot l \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$



159.1. Ha egy tekercshez mágnest közelítünk (balra) vagy távolítunk, a tekercsben feszültség indukálódik

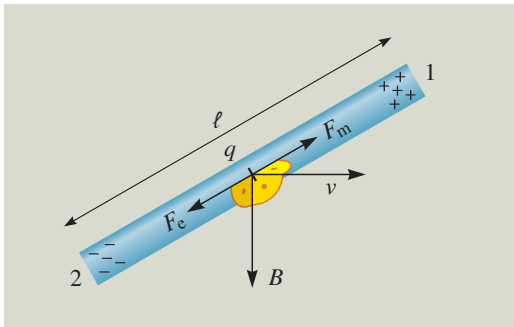
Az indukált feszültség nagysága tehát számolható a vezető által körülzárt fluxus megváltozása (vagy a vezető által átmetszett fluxus) és az ehhez szükséges idő hányadosaként:

$$U = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Az elektromágneses indukció jelenségét és az indukált feszültségre vonatkozó törvényt *Faraday* angol fizikus fedezte fel kísérleti úton 1831-ben. (Faraday-féle indukciós törvény**)

Gondoljuk végig, hogyan következik elméletileg a Lorentz-erőtörvényből az indukált feszültség nagyságára vonatkozó összefüggés!

A v sebességgel mozgó vezetővel együtt mozognak a vezetőben lévő pozitív és negatív töltések is. A pozitív töltésekre a 160.1. ábrán jelölt irányban F_m mágneses Lorentz-erő hat. Mivel a pozitív töltések helyhez kötöttek, a mágneses mező erőhatása a negatív töltéseket fogja ellenkező irányban elmozdítani. A vezető „2” jelzésű végén tehát negatív többlettöltés, az „1” jelzésű végén (az eltávozott negatív töltések miatt) pozitív többlettöltés halmozódik fel.



160.1. A mágneses mező F_m erőhatásával szemben fellép az elektromos mező F_e erőhatása

Mekkora feszültség jön létre az így kialakult áramforrás pólusai között?

Az ábra szerint egy kiszemelt pozitív töltésre mozgás közben állandóan hat az F_m mágneses Lorentz-erő, de fellép a már szétválasztott töltések elektromos mezőjének F_e erőhatása is. (Hasonló módon, csak ellentétes irányban lépnek fel ezek az erők a vezetőben lévő negatív töltésekre is.)

A töltésszétválasztás akkor nem folytatódik, ha ez a két erő kiegyenlíti egymás hatását.

$$F_m = B \cdot q \cdot v; \quad F_e = E \cdot q = \frac{U}{l} \cdot q.$$

A két erő egyenlőségéből kifejezhető a feszültség. Az eredmény:

$$U = B \cdot l \cdot v.$$

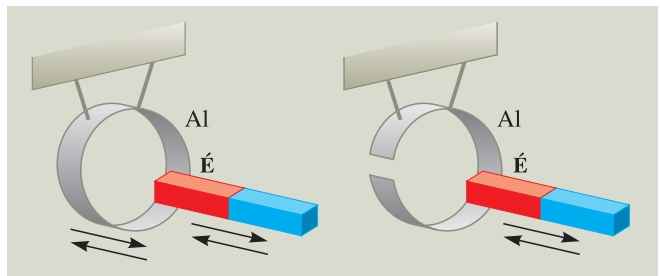
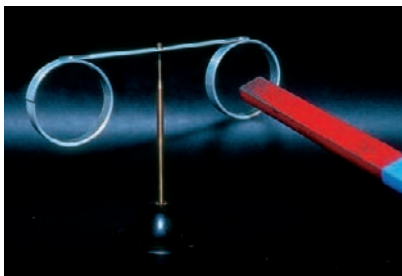
AZ INDUKÁLT ÁRAM IRÁNYA

Kísérleteink mutatták, hogy ellenkező irányú áram indukálódik a tekercsben, ha közelítünk a mágnes valamelyik pólusával, vagy távolodunk a tekercstől ugyanezzel a pólussal.

Mozgassunk mágneset felfüggesztett alumíniumgyűrűhöz viszonyítva! Közelítéskor taszítást, távolításkor vonzást tapasztalunk a mágnes és az alumíniumkarika között.

Meggyőződhetünk arról is, hogy nem a légáram hozta lengésbe a gyűrűt: ha egy kis szakadás van benne, nem következik be az előbb tapasztalt mozgás. A jelenség tehát az indukált áram következménye. Az indukált áram hatására az alumíniumgyűrű olyan mágneses dipólussá változik, amely a közeledő mágnessel taszító, a távolodó mágnessel vonzó kölcsönhatásba lép.

Az indukált áram iránya mindig olyan, hogy mágneses hatásával akadályozza az indukáló folyamatot.



160.2. Melyik alumíniumgyűrűvel és hogyan igazolható Lenz törvénye?

A törvényt *Lenz* ismerte fel 1834-ben.

Lenz törvénye* az energiamegmaradás törvényét fejezi ki.

Gondoljuk el például, hogy a mágnes és a gyűrű közeledésekor olyan indukált áram keletkezne, amely nem taszító, hanem vonzó kölcsönhatást idézne elő. Akkor csak kissé el kellene indítanunk a két testet egymás felé, a vonzóerő gyorsítaná őket, még nagyobb áram indukálódna, amely még nagyobb vonzó hatást eredményezne stb. Világos, hogy így a rendszer energiája magától növekedne, ami ellentmondana az energiamegmaradás törvényének.

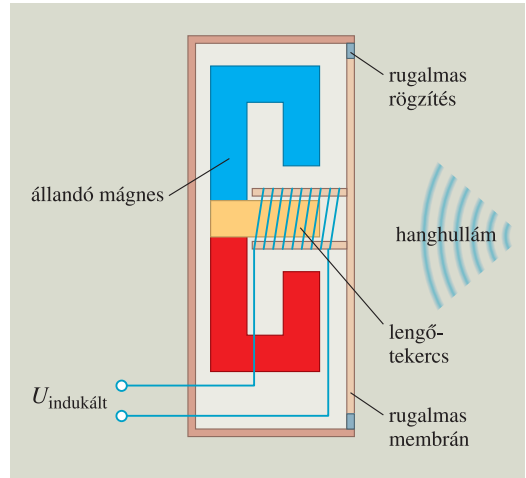
Mivel azonban közelítéskor taszítóerő lép fel, a további közelítés csak munka befektetése útján érhető el. Az indukált áram elektromos munkáját a közelítés során befektetett mechanikai munka fedezi.

A MOZGÁSI INDUKCIÓ ALKALMAZÁSAI

A mozgási elektromágneses indukció lehetőségét biztosít arra, hogy mechanikai energia befektetése árán elektromos mezőt, elektromos energiát hozzunk létre. Ezen az elven működnek az **elektromos generátorok**, amelyek a villamos energia ipari előállítására szolgálnak.

A generátorokkal a későbbiekben még foglalkozunk.

A hangfelvételeknél használatos **mikrofonok** a hangrezgéseket elektromos jelekké (megfelelően változó elektromos feszültséggé) alakítják át. A dinamikus mikrofon a mozgási indukció elvén alapszik (161.2. ábra). A hangrezgés hatására a membrán (rugalmas lemez) és a hozzáerősített tekercs is rezeg a rögzített állandó mágnes mezőjében. Így a tekercsben a hangrezgés tulajdonságait hordozó elektromos feszültség indukálódik.



161.2. A dinamikus mikrofon elve. Képes lenne-e ez az eszköz fordított irányú energiaátalakításra?

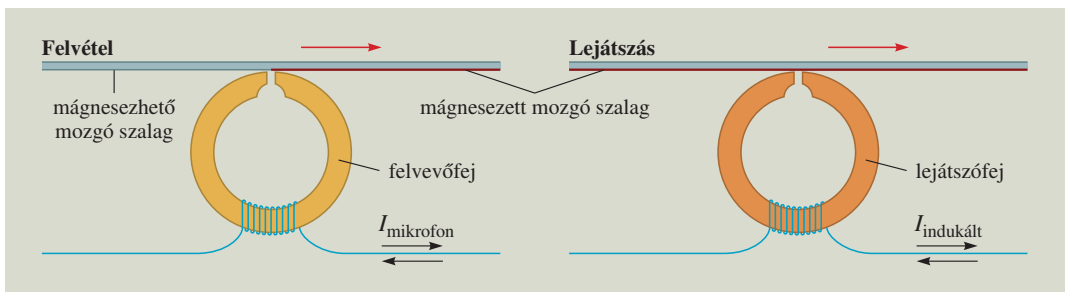
Napjainkban nagy jelentősége van a **mágneses információátvitelnek és -visszaadásnak** (magnetofon, videó, floppy).

A **magnetofonfelvételnél** a hang tulajdonságaival rendelkező áram (mikrofon árama) átfolyik a felvevőfej tekercsén (161.1. ábra). A tekercs gyűrű alakú vasmagjának légrése előtt egyenesen halad a mágnesezhető szalag, amely a tekercs áramának megfelelően átmágneseződik.

Visszajátszáskor fordított folyamat játszódik le: A légrés előtt elhaladó változó mágnesezettségű szalag változó feszültséget indukál a lejátszófej tekercsében.

A számítógép floppy meghajtója mágnesezhető hajlékony vagy merev lemezt forgat a fej vasmagos tekercsének légréseben. A felvétel és a visszajátszás fizikai elve megegyezik a magnetofonéval.

A számítógépnél digitális jeleket használnak: a lemezen csak kétféle (1-nek és 0-nak megfelelő) mágneses jel szerepel.



161.1. Magnetofonfelvétel és -lejátszás elve

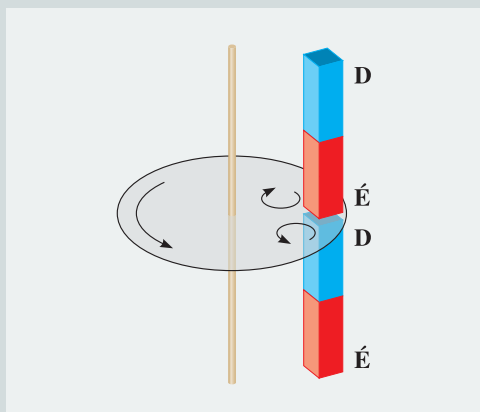
m MEGJEGYZÉS

1. Ha könnyen forgó alumíniumkorongot megpörgetünk, és elektromágnes vagy állandó mágnes erős mágneses mezőjébe helyezük, a korong gyorsan lefékeződik. Nem tömör (szeletelt) korongnál lényegesen gyengébb a fékező hatás.

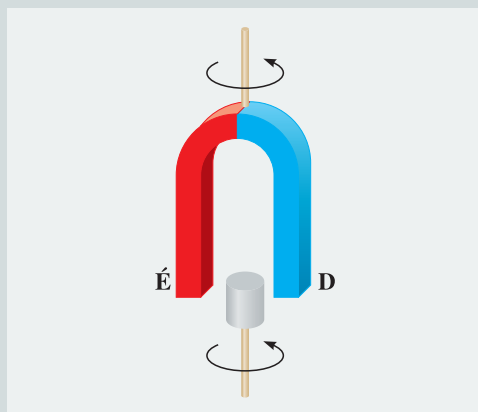
A jelenséget az ún. **örvényáramok**** okozzák. Ha egyenes vezető helyett kiterjedt fémtest valamely része lép be a mágneses mezőbe vagy mozdul ki onnan – örvényszerű áramok indukálódnak a fémbe. Ezek mágneses hatása – Lenz törvénye szerint – akadályozza az indukáló folyamatot, jelen esetben a korong mágneshez viszonyított forgását. Szeletelt korongnál nem tudnak mindenhol korlátlanul kialakulni az örvényáramok. Az örvényáramok felhasználhatók mágneses fékezésre (villanyóra forgó tárcsájánál, műszerek mutatóinak lengéscsillapításánál).

Ha álló alumíniumkorong felett, vagy könnyű, tengelyezett alumíniumpohár körül erős mágnespatkót forgatunk, a korong (pohár) forgásba jön. Ez is az örvényáramok mágneses hatásának következménye. Ezen az elven működnek az **aszinkron motorok**, amelyeknek forgórésze igyekszik követni az állórész áramaival létrehozott forgó mágneses mezőt.

Az örvényáramok hőhatása hasznosítható is (például az indukciós olvasztókemencékben), de legtöbbször káros, energiavesztést okoz. Az utóbbi elkerülésére a tekercsek vasmagjait gyakran egymástól elszigetelt lemezekből készítik.



162.1. Az örvényáram fékez: a forgó Al-tárcsát az álló mágnesek fékezik

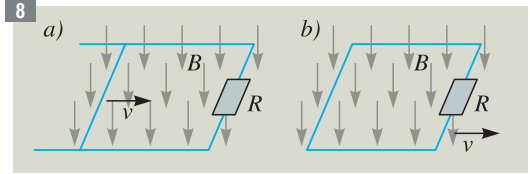


162.2. Az örvényáram forgat: a forgó mágnes az álló Al-hengert forgásba hozza

g GONDOLKODTATÓ KÉRDÉSEK

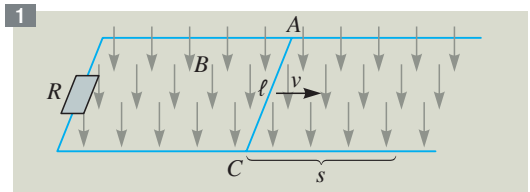
1. Hogyan érhető el a gyakorlatban, hogy nagy feszültség indukálódjon?
2. Mágneses mezőben, elhanyagolható súrlódás mellett egyenletesen mozgatunk egy vezetőt. Kell-e ehhez erőt kifejtenünk, ha
 - a) feszültség indukálódik, de áram nem?
 - b) feszültség és áram is indukálódik?
3. Miért világít jobban a kerékpár lámpája, ha gyorsabban forgatjuk a kereket?
4. Miért fékeződik jobban a kerékpár kereke, amikor a kerékpár lámpája erősebben világít?

5. A mágnes az alumíniumot nem vonzza. Ha erősen mágnesezett korongot ejtünk le Al-csőben, az mégis sokkal lassabban ér talajt, mintha szabadon ejtettük volna. Miért?
6. Milyen körüljárású áram indukálódik a 160.2. ábra zárt alumíniumgyűrűjében az északi pólus közelítésénél és távolításánál?
7. Milyen polaritású feszültség indukálódik a 160.2. ábra megszakított gyűrűjének végpontjai között a mágnes északi pólusának közeledésekor és távolodásakor?
8. Az a) és b) ábránál is vezető mozog homogén mágneses térben a mágneses indukcióra merőlegesen: az egyik esetben csak egy vezetődarab, a másik esetben az egész zárt vezető kör. Egyforma indukált áramot kapunk-e a két esetben?
9. A dinamikus hangszóró (151. oldal) elvi felépítése megegyezik a dinamikus mikrofonéval. Mi a lényeges eltérés a működési elvben?



f FELADATOK

1. Lefelé irányuló $B = 3 \text{ T}$ indukciójú homogén mágneses mezőben vízszintes vezetékpáron súrlódásmentesen csúszik egy $\ell = 20 \text{ cm}$ hosszú vezetődarab. A sebesség $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ nagyságú és merőleges a vezetőre. A vezetékpárt $R = 5 \Omega$ -os ellenállás zárja le.



- Mekkora feszültség indukálódik a mozgó vezetőn?
- Milyen nagyságú és irányú lesz az indukált áram?
- Milyen nagyságú és irányú erőt kell kifejtenünk az egyenes mozgáshoz?
- Mennyi munkát kell végeznünk a vezető $s = 0,5 \text{ m}$ -es útján?
- Hogyan teljesül itt az energiamegmaradás törvénye?

MEGOLDÁS:

$$B = 3 \text{ T}$$

$$\ell = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$R = 5 \Omega$$

$$U = ?, I = ?, F = ?, W = ?$$

$$a) U = B \cdot \ell \cdot v = 3 \text{ T} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \mathbf{2,4 \text{ V.}}$$

$$b) I = \frac{U}{R} = \frac{2,4 \text{ V}}{5 \Omega} = \mathbf{0,48 \text{ A.}}$$

Az áram iránya a pozitív A pólustól az R ellenálláson át a C pontig, onnan a mozgó vezetőn keresztül (a keletkezett áramforráson belül) az A pont felé irányul.

$$c) F = B \cdot I \cdot \ell = 3 \text{ T} \cdot 0,48 \text{ A} \cdot 0,2 \text{ m} = \mathbf{0,288 \text{ N.}}$$

Az erőt a mozgató irányában kell kifejtenünk, mivel az indukált árammal átjárt mozgó vezetőre a mágneses mező fékező hatást fejt ki. (Ezt Lenz törvénye is kimondja, de a Lorentz-erő irány szabályából is kikövetkeztethető.)

d) $W = F \cdot s = 0,288 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m} = \mathbf{0,144 \text{ J}}$.

e) Az általunk befektetett munka fedezi az elektromos mező munkáját az R ellenálláson, majd leadott hő formájában növeli a környezet belső energiáját. Állításunkat ellenőrizhetjük az elektromos munka kiszámításával.

A mozgató ideje:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{0,5 \text{ m}}{4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,125 \text{ s}.$$

Az elektromos munka eközben:

$$W = U \cdot I \cdot t = 2,4 \text{ V} \cdot 0,48 \text{ A} \cdot 0,125 \text{ s} = \mathbf{0,144 \text{ J}}.$$

2. Mekkora sebességgel kell mozgatnunk egy 30 cm hosszú vezetőt a $8 \cdot 10^{-2} \text{ T}$ indukciójú homogén mágneses mezőben, hogy a vezető végei között 1,5 V feszültség indukálódjon, ha
- a) a sebesség merőleges a mágneses indukcióra?
 - b) a sebesség és a mágneses indukció 30° -os szöget zár be?
3. Lefelé irányuló 2 T mágneses indukciójú homogén mágneses mezőben 40 cm hosszú, vízszintes vezető mozog a mágneses indukcióra és a vezetőre is merőleges irányban $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sebességgel.
- Mekkora feszültség indukálódik a vezető végei között?
 - Mekkora áram jön létre, ha a vezető végeit 10 ohmos ellenállással kötjük össze?
 - Mekkora erőt kell kifejteni a vezetőre, ha nyitott és ha zárt a vezető áramköre?
 - Mennyi munkát kell végeznünk zárt áramkör esetén, hogy 2 másodpercig egyenletesen mozogjon a vezető, és mennyi az elektromos munka ugyanezen idő alatt?
4. A Föld mágneses mezőjének indukciója egy helyen $2,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ nagyságú, és észak felé, de a vízszintestől 65° -kal lefelé mutat. Egy repülőgép, melynek legnagyobb szélessége 30 m, vízszintesen észak felé repül $720 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ sebességgel.
- Mekkora feszültség indukálódik a gép szárnyainak végpontjai között?
 - Mekkora lenne az indukált feszültség, ha ugyanezzel a sebességgel repülne északnak, de a vízszintestől 65° -kal lefelé mutató irányban?
 - Milyen irányú repülésnél indukálna a legnagyobb feszültség a gépen?
 - Miért nem lehet a jelenséget áramforrásként használni a repülőgépen?
5. Egy 1200 menetes, 10 cm^2 keresztmetszetű, 25 ohm belső ellenállású tekercs kivezetéseit rövidre zárjuk. A tekercset a $2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$ indukciójú földi mágneses mezőben 0,1 s alatt a mágneses indukcióval párhuzamos tengelyű helyzetből a mágneses indukcióra merőleges helyzetbe forgatjuk. Mekkora átlagos áram folyik a tekercsen?
6. Függőlegesen lefelé irányuló 0,8 T mágneses indukciójú homogén mezőben $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ kerületi sebességgel forog egy 10 cm oldalú, négyzet alakú fémkörmék. Mennyi az indukált feszültség az AB , BC , CD és AD pontpárok között, amikor a keret síkja
- függőleges;
 - vízszintes?

