F. J. Bozsinova, M. M. Kirjuhin, O. O. Kirjuhina

# FIZIKA

## 9

**Tankönyv az általános oktatási rendszerű tanintézetek számára**

Ajánlotta Ukrajna Oktatási és Tudományos Minisztériuma

ЧОПСЬКА
СЕРЕДНЯ ШКОЛА № 2

ЛЬВІВ
"СВІТ"
2009

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721
Б76

Перекладено з видання:
Божинова Ф. Я. Фізика. 9 клас: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів / Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. – Х.: Видавництво "Ранок", 2009.

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України (наказ Міністерства освіти і науки України від 02.02.2009 р., № 56)*

**Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Відповідальні за підготовку підручника до видання:
*О. В. Хоменко,* головний спеціаліст МОН України; *І. А. Юрчук,* методист вищої категорії Інституту інноваційних технологій і змісту освіти

Незалежні експерти:
*В. Г. Бар'яхтар,* директор Інституту магнетизму НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор, академік НАН України;
*І. І. Бродин,* доц. кафедри фізики твердого тіла Прикарпатського національного університету ім. Стефаника, канд. фіз.-мат. наук;
*М. В. Головко,* заст. директора Інституту педагогіки АПН України, канд. пед. наук;
*О. М. Дума,* вчитель фізики гімназії № 4 м. Одеси, учитель-методист;
*В. М. Карпова,* вчитель фізики гімназії № 28 м. Запоріжжя, учитель-методист;
*З. Я. Євтушик,* методист міського методичного кабінету Ковельського міського управління освіти;
*О. М. Хоренко,* методист Київського обласного інституту педагогічної освіти педагогічних кадрів, учитель-методист

Рецензенти:
*С. В. Каплун,* зав. кафедри методики природн.-мат. освіти Харківського обласного науково-методичного інституту безперервної освіти, канд. пед. наук, доцент;
*Ю. Є. Крот,* професор кафедри фізики Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури, канд. техн. наук;
*В. М. Ятвецький,* методист Одеського регіонального центру оцінювання якості освіти;
*Л. І. Ятвецька,* завідувачка науково-методичної лабораторії природничих дисциплін Одеського обласного інституту вдосконалення вчителів

Божинова Ф. Я.
Б76 Фізика. 9 клас: Підручник для загальноосвіт. навчальних закладів із навчанням угорською мовою / Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна // Переклад угорською мовою А. А. Штерр, Г. Г. Семере. – Львів: Світ, 2009. – 224 с: іл.
ISBN 978-966-603-626-4.

Пропонований підручник є складовою частиною навчально-методичного комплекту "Фізнка-9", який включає також плани-конспекти всіх уроків, збірник задач, зошит для лабораторних робіт та комплексний зошит для контролю знань.

Основна мета підручника – сприяти формуванню базових фізичних знань, показати їхню необхідність для розуміння навколишнього світу.

**УДК 371.388:53**
**ББК 22.3я721**

© Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна, 2009
© В. В. Зюзюкін, В. В. Хлистун, іл., 2009
© ТОВ Видавництво "Ранок", 2009
© А. А. Штерр, Г. Г. Семере, переклад, 2009

ISBN 978-966-603-626-4 (угор.)
ISBN 978-966-672-874-9 (укр.)

## Kedves barátaim!

Már harmadik éve tanuljátok a fizikát. Reméljük, hogy képesek vagytok értékelni ennek a csodálatos természettudománynak az értékeit, sőt az eddig megszerzett tudás segítségével arra törekedtek, hogy megértsétek és megmagyarázzátok a környezetetekben végbemenő folyamatokat.

Valaki közületek az optikus szemével szereti nézni a világot, másvalaki a mechanikuséval, olyan is van, aki a termodinamikus szemléletet részesíti előnyben. Azonban, még bármily tökéletesen ismerve az optikai, mechanikai vagy hőjelenségeket, lehetetlen megérteni például, a fénymásoló működési elvét, vagy eligazodni a legegyszerűbb zseblámpa kapcsolási rajzában, nem is szólva annak a megértéséről, mit is mérnek a Geiger-Müller számlálóval, vagy hogyan működik az atomreaktor. Tudniillik az összes említett berendezés vagy az elektromágnesesség, vagy pedig az atomfizika törvényein alapul. Éppen ezekkel a törvényekkel ismertet meg benneteket a 9. osztály fizika tananyaga.

**Az elektromos tér** c. fejezetben megismerkedhettek a mozdulatlan, töltéssel rendelkező részecskék világával. Az ilyen részecskék tanulmányozásával az elektrosztatika – a nyugalomban lévő töltések tulajdonságait és kölcsönhatását leíró tudomány – foglalkozik.

Az elektromos töltések irányított mozgását **Az elektromos áram** c. fejezetben fogjátok tanulmányozni. Megtudjátok, milyen feltételek mellett létezik az elektromos áram, hogyan jön létre, és ami a legfontosabb, hol használják.

**A mágneses tér** c. fejezet szorosan kötődik az előzőhöz, hiszen a mágneses jelenségek a töltött részecskék mozgásának eredménye.

**Az atommag. Magenergetika** c. fejezetben megkezditek az erős kölcsönhatás, a magerő tanulmányozását. „Belenéztek" az atommag mélyébe, megtudjátok, mi a radioaktivitás, mikor kell tartani a radioaktív sugárzástól és mikor hasznos ez a sugárzás. Megtudjátok, mi az atomerőművek fűtőanyaga, és hogyan működnek.

Nyilvánvaló, hogy a ti erőfeszítésetek nélkül nem lehet megérteni és megszeretni a fizikát. Tanulni azt jelenti – önmagadat tanítani. A tanár és a tankönyv csupán segítenek a tudás megszerzésében: eljuttatják hozzátok a szükséges információt, megmagyarázzák a bonyolult fogalmakat, megmutatják az ösvényt a fizikai feladatok dzsungelében. Ezért figyelmesen tanuljátok minden egyes paragrafust. Figyeljétek meg, hogy a csillaggal (*) jelölt paragrafusok (vagy bizonyos pontjai) azoknak szólnak, akik többet szeretnének tudni. A paragrafusok az **Összegzés**, **Ellenőrző kérdések**, **Gyakorlat** rubrikákkal érnek véget.

Az **Összegzés** rubrikának köszönhetően lehetőségetek van még egyszer kijelölni a legfontosabbakat a megtanult anyagban és átismételni azt.

Annak a tisztázásában, hogyan értettétek meg a tanultakat az **Ellenőrző kérdések** segítenek. Ha minden kérdésre tudjátok a választ, minden rendben van, ha néhányra nem tudtok felelni, olvassátok újra a paragrafus megfelelő részét.

A **Gyakorlat** rubrika lehetővé teszi a megszerzett tudás gyakorlati alkalmazását. Ezeket a feladatokat mindenki képes megoldani, ugyanakkor gondolkodni kell és kreativitásra is szükség van. Csillaggal (*) a nehezebb feladatokat jelöltük.

A fizika kísérleti tudomány, ezért a tankönyvben **laboratóriumi munkák** és **kísérleti feladatok** várnak rátok. Mindenképpen végezzétek el ezeket, akkor jobban megértitek és megszeretitek a fizikát.

Az ellenőrző dolgozatokhoz való felkészülés során hasznos lesz az **Ellenőrző feladatok**, a **Fejezet összefoglalása** pedig segít a megszerzett tudás rendszerezésében, és abban, hogy egységes egészként lássuk a fejezet tananyagát.

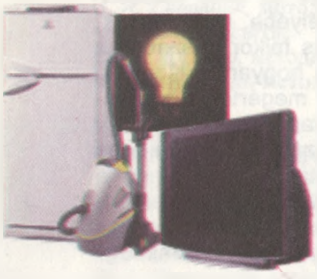
Aki többet szeretne tudni a fizikai és technikai tudományok fejlődéséről, vagy a jövőben fizikával szeretne foglalkozni, sok hasznos és érdekes információt találhat **A fizika és technika Ukrajnában** és az **Enciklopédiai oldal** c. rubrikában.

**Sok sikert kívánunk a fizika világába tett érdekes utazáshoz!**

# 1. FEJEZET. AZ ELEKTROMOS TÉR

## 1. §. A TÖLTÉS ÉS AZ ELEKTROMÁGNESES KÖLCSÖNHATÁS

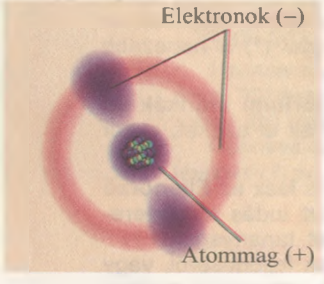
?! A 7. osztályos fizika tananyagából még biztosan emlékeztek a „titokzatos" elektromágneses kölcsönhatásra. Azért titokzatos, mert akkor csupán megemlítettük, hogy ez a kölcsönhatás meghatározza a környezetünk legtöbb folyamatát és jelenségét (1. 1. ábra). Most eljött az idő, hogy részletesebben is megismerkedjünk az elektromágneses jelenségekkel. Ehhez elsősorban az szükséges, hogy megtudjuk, mi is az az elektromos töltés (mellesleg a mozdulatlan elektromos töltések tulajdonságait és kölcsönhatását az *elektrosztatika*, a fizika külön fejezete tárgyalja). Közismert, hogy a bányamérnökök és katonák a robbanóanyagokat töltetnek nevezik; néha a „töltést" az érzelem tartalékának hívják. De mi is a töltés a fizikában? Ezt megtudhatjátok a következő paragrafusból.



**1. 1. ábra.** Számos olyan műszer, amely nélkül mindennapjaink elképzelhetetlenek lennének, az elektromágneses kölcsönhatás elvén működik

### 1 Megismerjük az elektromágneses kölcsönhatást

Az atom szerkezetét, mint bármilyen anyag összetevőjét, már tanulmányoztátok a természetrajz, fizika és kémia órákon*. Felidézzük, hogy minden anyag atomja magból áll, ami körül az elektronok mozognak. Az atom némiképpen leegyszerűsített felépítése az 1. 2. ábrán látható. Meg kell említeni, hogy ez az ábra csupán megközelítően tükrözi a tudomány mai állását. Azonban a 9. osztályos fizika elsajátításának szempontjából ez a modell tökéletesen megfelel.




**1. 2. ábra.** Az atom szerkezete: az elektron felhőként elkenődve veszi körül a magot

Az elektronok az atomban mindig a mag körül találhatók. Ez azt jelenti, hogy a mag, illetve az elektronok kölcsönösen vonzzák egymást. Feltételezhetjük, hogy ezt a vonzást a gravitációs kölcsönhatás okozza. Azonban ez nem igaz: az elektronok és az atommag is túl könnyűek, a gravitációs kölcsönhatás csak akkor jelentős, ha a kölcsönható testek legalább egyikének nagy a tömege, mint például a csillagoknak vagy a bolygóknak. Valójában az atom más típusú kölcsönhatás miatt nem esik szét. Ez az *elektromágneses kölcsönhatás*.

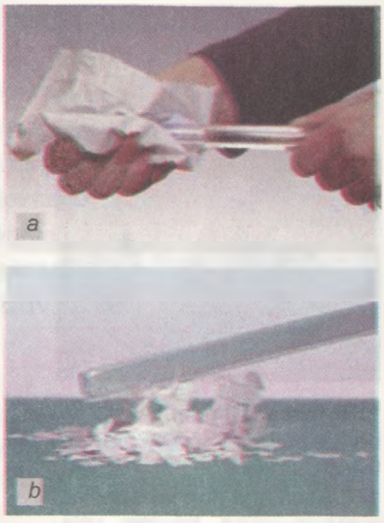
* A tankönyv 4. fejezetében visszatérünk az atom felépítéséhez, amiből megtudhatjátok, hogyan tanulmányozták azt a fizikusok.

Azonban az atommagot és az elektronokat, amelyekből az atom felépül, viszonylag nemrég, kevesebb mint 150 éve fedezték fel. Elképzelhető, hogy a tudósok korábban nem tudtak az elektromágneses kölcsönhatás létezéséről? Természetesen tudtak róla.

Több mint 25 évszázada *Thalész* milétoszi görög filozófus prémmel dörzsölte a borostyánkövet, és megfigyelte, hogy az ezt követően vonzani kezdte a madártollat, pelyhet, szalmaszálat, száraz levelet. Éppen a borostyán görög nevéből ered annak a folyamatnak az elnevezése, amikor a testek vonzani képesek egymást, vagyis *elektromozódnak* (elektromos állapotba jutnak), az ilyen tulajdonsággal rendelkező testet pedig *elektromozottnak* vagy *elektromosan töltöttnek* nevezzük.

A mindennapi életből tudjuk, hogyha a száraz hajat műanyag fésűvel fésüljük, a fésű magához vonzza a pihét, papírdarabkákat, hajszálakat. Hasonló tulajdonságra tesz szert a szőrmével dörzsölt ebonitrúd vagy a selyemmel, illetve papírral dörzsölt üvegrúd is (1. 3. ábra).

Közületek néhányan valószínűleg elcsodálkoznak, mi köze lehet az elektromozott fésűnek, rúdnak vagy a borostyánnak és a különböző apró testeknek az elektronok, illetve az atommagok kölcsönhatásához. Kiderül azonban, hogy minden esetben elektromágneses kölcsönhatással van dolgunk. Hogy ez miért van így? Tisztázzuk a kérdést.

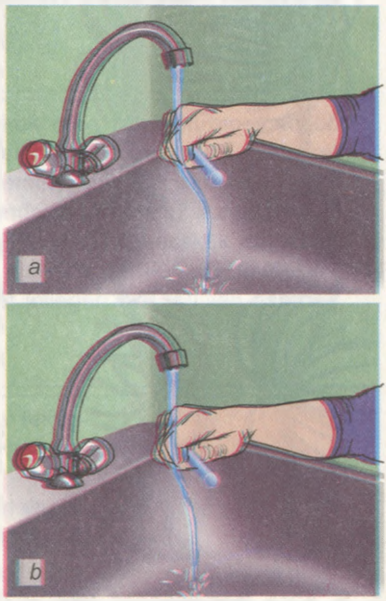



**1. 3. ábra.** A szerves üvegrúd elektromozásához elegendő egy papírdarabbal megdörzsölni azt (*a*). Rövid dörzsölés után a rúd vonzani fogja az apró testeket (*b*)

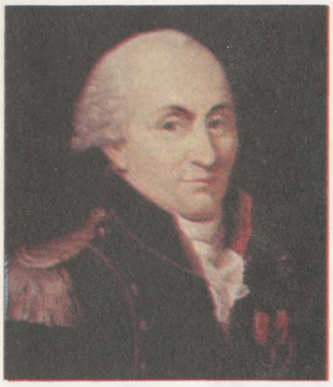
## 2 Megismerjük az elektromos töltést

A kísérletek azt mutatják, hogy az elektromozott testek nem csak a pelyheket, szalmaszálat, papírdarabokat vonzzák, de a fémtesteket, a földdarabokat, sőt a vékony víz-, illetve olajsugarat is. Figyeljétek meg, hogy az elektromozott pálca és a víz elektromos kölcsönhatásának intenzitása különböző lehet. Az 1. 4. *a* ábrán feltüntetett kísérletben a vízsugár jobban kitért, mint a 1. 4. *b* ábrán.

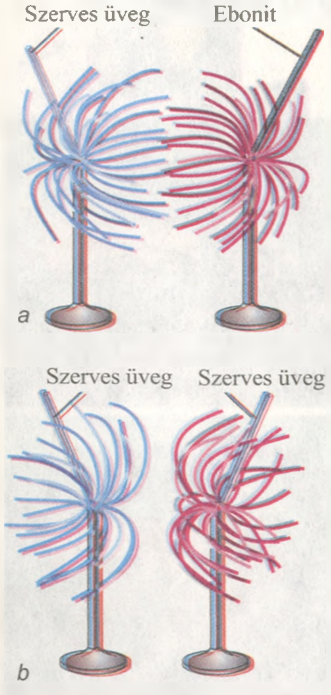
Azért, hogy mennyiségileg is ki lehessen fejezni az elektromágneses kölcsönhatás intenzitását, bevezették az *elektromos töltés* fogalmát.




**1. 4. ábra.** Az elektromozott rúd, illetve a vízsugár kölcsönhatásának intenzitása különböző lehet (*a*, *b*)



**1. 5. ábra.** Charles Augustin de Coulomb (1736–1806) francia fizikus és hadmérnök. 1785-ben megfogalmazta az elektrosztatika később róla elnevezett alaptörvényét




**1. 6. ábra.** A különböző töltésű papírcsíkok vonzzák egymást (*a*); az egyneműek pedig taszítják (*b*)

Az **elektromos töltés** a részecskék vagy testek elektromágneses kölcsönhatásban betöltött szerepét jellemző fizikai mennyiség.

Az *SI rendszerben a töltés mértékegysége* a **coulomb (C)**, Charles Coulomb francia fizikus tiszteletére (1. 5. ábra). Ez a mértékegység az SI rendszer származtatott egysége (a coulomb meghatározását a tankönyv 2. fejezetében ismertetjük).

Az elektromos töltés jele a $q$.

Az elektromozott testről azt mondják, hogy a *test elektromos töltést kapott*. Vagyis az ***elektromozódás*** nem más, mint a *makroszkopikus testek elektromos töltéssel való feltöltése*.

## 3 Elsajátítjuk az elektromos töltés fő tulajdonságait

1. *Kétféle elektromos töltés létezik: negatív és pozitív.* Azt a fajta elektromos töltést, amely a szőrmével dörzsölt borostyánon vagy az ebonitrúdon keletkezett, negatívnak tekintjük, a papírral dörzsölt szerves üvegét pedig pozitívnak.

2. *Az azonos töltéssel rendelkező testek taszítják, míg az ellenkező előjelű töltéssel bírók vonzzák egymást* (1. 6. ábra).

3. *Az elektromos töltés hordozója mindig valamely részecske. A töltés nem létezik részecske nélkül.* Vagyis az elektromozódás során a test felvesz vagy lead bizonyos számú töltéssel rendelkező részecskét. A negatív töltésű részecskék egyike az *elektron*, az egyik pozitív pedig a *proton* (ez a részecske az atommag egyik alkotóeleme). A test általában elektronokat ad le vagy vesz fel elektromozódása során.

4. *Az elektromos töltés diszkrét vagy kvantált, azaz minden test töltése egy legkisebb töltés többszöröse.* A legkisebb negatív töltés hordozója az elektron. Általában $e$ betűvel jelölik, az értéke $e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C. A legkisebb pozitív töltés hordozója a proton, amelynek töltése nagyságát tekintve megegyezik az elektronéval. Ily módon bármely test töltésének abszolút értéke: $|q| = N\,|e|$, ahol $N$ egész szám. Tehát nem léteznek olyan mikrorészecskék vagy makroszkopikus

testek, amelyek töltése 37,5 *e* vagy –17,7 *e* lenne, mivel ezek a töltések nem többszörösei az elektron (proton) töltésének.

5. *Mind a mikrorészecskék, mind pedig a makroszkopikus testek rendelkezhetnek (negatív vagy pozitív) töltéssel, de semlegesek is lehetnek.* A semleges töltésű részecskék közé tartoznak például a *neutronok* (a protonokkal együtt ezek alkotják az atommagot). Az atomok összetevőihez tartoznak a töltéssel rendelkező protonok és az elektronok is, ugyanakkor az atomok önmagukban semlegesek. Ez azért van így, mert az atomokban az elektronok és a protonok száma megegyezik. Ha az atom lead egy vagy több elektront, akkor pozitív ionná alakul, ha pedig felvesz, akkor negatív ionná válik.

## Összegzés

Az elektromos töltés a részecskéknek vagy testeknek az elektromágneses kölcsönhatásban betöltött szerepét jellemző fizikai mennyiség. A töltés jele $q$, mértékegysége a C (coulomb).

A makroszkopikus testek elektromos töltéssel való feltöltődését elektromozódásnak nevezik. Eközben a test általában elektronokat vesz fel vagy ad le.

Kétféle, pozitív és negatív töltést különböztetünk meg. Az egynemű töltésekkel feltöltött testek (részecskék) taszítják, míg a különneműek vonzzák egymást.

Az elektromos töltés diszkrét (kvantált) mennyiség: létezik egy legkisebb (elemi) elektromos töltés, amelynek minden test vagy részecske töltése a többszöröse. Az elektromos töltés nem létezhet részecske nélkül; a negatív elemi töltés hordozója az elektron, a pozitívé pedig a proton.

## Ellenőrző kérdések

**1.** Mit nevezünk elektromos töltésnek? **2.** Nevezzétek meg az elektromos töltés mértékegységét! **3.** A töltések milyen fajtái léteznek? **4.** Milyen fajtájú töltéssel rendelkezik a szőrmével dörzsölt ebonitrúd? A selyemmel dörzsölt szerves üveg? **5.** Mi módon hatnak kölcsön az azonos töltéssel rendelkező testek? Az ellenkező előjelűek? **6.** Milyen részecskékből épül fel az atom? **7.** Mely részecskék tartoznak az atommaghoz? **8.** Melyik részecske rendelkezik a legkisebb negatív töltéssel? A legkisebb pozitívval? **9.** Mit értünk a töltés diszkrét jellegén? **10.** Milyen esetben változhat pozitív ionná az atom? Negatívvá?

## 1. gyakorlat

1. Az ábrán pozitív töltésű gömb és cérnaszálakra felfüggesztett ismeretlen töltésű gömbök láthatók. Határozzátok meg a gömbök töltését!
2. A vékony selyemszálon feltöltött papírgömb található. Hogyan lehet meghatározni a töltését egy ebonitrúd, illetve egy darab szőrme segítségével?
3. A 12 protonnal rendelkező atom 2 elektront veszített. Hány elektronja maradt?
4. A lítiumatom pozitív lítiumionná alakult. Mi változott meg az atomban?

### Kísérleti feladat

Állítsátok össze a töltéssel rendelkező testek kölcsönhatásának jellemzését vizsgáló kísérlet tervét! A kísérlet eszközeiként cérnára vagy műanyag tollra felfüggesztett, kb. 4×15 cm méretű papír-, illetve 2×3 cm-es polietilén csíkot használjatok. Végezzétek el a megfelelö kísérletet!

**A FIZIKA ÉS TECHNIKA UKRAJNÁBAN**

**Az A. M. Pidhornij nevét viselő harkivi Nemzeti Akadémiai Kutatóintézet** erőfeszítéseit a nagyteljesítményű elektromos berendezések hatékonyságának növelésére helyezi. Például a turbinák működését vizsgálva a tudósok kiderítik azokat a problémás helyeket, amelyek gátolják a berendezés effektív működését, majd a fizika törvényeire alapozva felfedezik a gondok kiküszöbölésének módjait. Így az intézet munkatársai a világon elsőként fedezték fel a munkaközegben azoknak az elektromos töltéseknek a jelenlétét, amelyek csökkentik a teljesítményt. A *„csúcshatás"* elvének felhasználásával (a jelenség a tankönyv 1. fejezetének *Enciklopédiai oldalán* található) a tudósok kideritették az ártalmas töltések semlegesítésének módját. Ilyen modernizált turbinák működnek például a Harkivi 5. számú Hőközpontban, vagy a Harkiv megyei Eszhar nagyközség 2. számú Hőközpontjában (lásd a fotót).

## 2. §. AZ ELEKTROMOS TÉR. A TÖLTÉSSEL RENDELKEZŐ TESTEK KÖLCSÖNHATÁSA

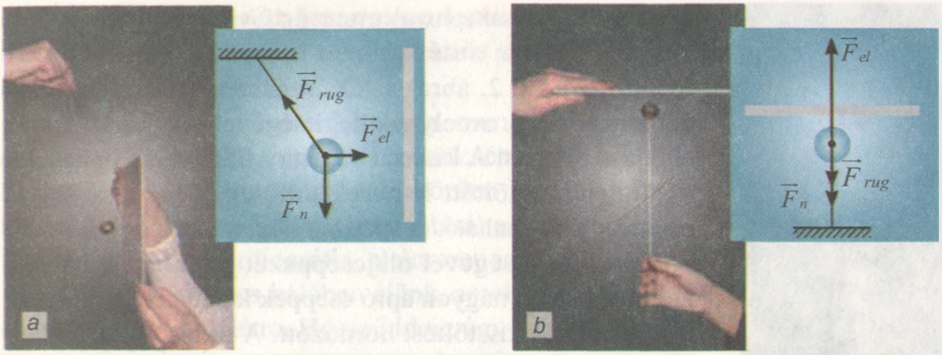
?! Jusson eszetekbe, hogyan vonzza a száraz és tiszta hajat a műanyag fésű. Érthető, hogy ebben az esetben az elektromozódás súrlódás által megy végbe: a haj és a fésű is feltöltődik. Ebből a paragrafusból megtudhatjátok, miért követi a haj a fésű mozgását (hasonlóan a hindu kígyóbűvölő kobrájához, amely mozdulatával követi a zene hangját).

### 1 Megfigyeljük a töltéssel rendelkező testek kölcsönhatását

Az 1. §-ból megtudtátok, hogy a töltéssel rendelkező test, például az elektromozódott pálca, vonzza a töltéssel nem rendelkező papírdarabokat. Ha elvégeztétek a megfelelő kísérleteket, valószínűleg felfigyeltetek arra, hogy a papírdarabkák még azt megelőzően „megérezték" a pálca közeledtét, mielőtt az érintette volna őket. Vagyis a töltéssel rendelkező pálca bizonyos távolságból is hat más tárgyakra! Most tisztázzuk, miért is van ez így.

Ehhez szükségünk lesz egy grafittal bevont kicsiny léggömbre, amely egy cérnaszálra van felfüggesztve, egy ebonitrúdra, egy gyapjúdarabra, egy papírlapra, valamint egy szerves üvegből készült lemezre.

Elektromozzuk az ebonitrudat, a gyapjúdarabhoz dörzsölve. Ezután a feltöltött rúddal megérintjük a cérnára függesztett gömböt. A gömb negatív töltést kap. A szerves üvegből készült lemezt megdörzsöljük a papírral, aminek következtében a




**2. 1. ábra.** A negatív töltésű golyó vonzódik a pozitív töltésű, szerves üvegből készült lemezhez. A golyó akkor van egyensúlyban, ha a nehézségi erőt $\vec{F}_n$ és a cérna $\vec{F}_{rug}$ rugalmassági erejét kiegyenlíti az $\vec{F}_{el}$ elektromos erő, amely az elektromosan töltött lemez részéről a golyóra hat (*a*, *b*). A golyó nem esik le az $\vec{F}_n$ erő hatására, mert hat rá az $\vec{F}_{el}$ erő (*b*).

lemez pozitív töltést kap. Közelítsünk lassan a gömbhöz a lemezzel. Minél közelebb kerülnek egymáshoz, a gömböt tartó cérna annál inkább kitér függőleges helyzetéből. Ha megszakítjuk a közelítést, a gömb akkor is megtartja természetellenes helyzetét (2. 1. *a* ábra). Ráadásul a lemezt a golyó fölé emelve, arra kényszeríthetjük ez utóbbit, hogy a számára még inkább természetellenes helyzetbe kerüljön (2. 1. *b* ábra). Mi történik? Miért nem kerül vissza a golyó eredeti helyzetébe? A következtetés nyilvánvaló: a golyóra a nehézségi erőn és a cérna rugalmassági erején kívül az elektromozódott lemez részéről egy harmadik erő, az $F_{el}$ is hat.

## 2 Megadjuk az elektromos tér meghatározását

A fentebb ismertetett kísérletből az a következtetés vonható le, miszerint *az elektromozott (töltött) lemez bizonyos változásokat okoz az őt körülvevő térben.* Vagyis a térben elhelyezett töltött golyóra valamilyen erő hat. Ebben az esetben azt mondják, hogy a golyót ***elektromos tér*** veszi körül.

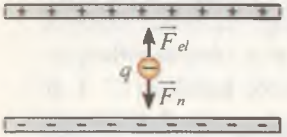
**Az elektromos tér** az anyag egy különleges fajtája, amely a töltéssel rendelkező test vagy részecskék körül létezik és bizonyos erővel hat más elektromos töltéssel rendelkező testekre vagy részecskékre.

Ily módon az elektromosan töltött lemez és a töltéssel rendelkező gömb elektromos kölcsönhatása az elektromos tér segítségével jön létre. Ha a töltéssel rendelkező golyó bekerül az elektromosan töltött lemez elektromos terébe, ez a tér bizonyos erővel hat a gömbre, ami ezáltal kitér eredeti helyzetéből.

Tisztában kell lennünk azzal, hogy nem csak a töltéssel rendelkező lemez hat elektromos terével a töltött gömbre, de a gömb is hat a lemezre. (Próbáljátok megmagyarázni, eközben miért nem mozdul el a lemez!)

Az elektromos térnek a töltött részecskékre és testekre kifejtett erőhatását, a tudósok felhasználták az elektron töltésének meghatározására.

**2. 2. ábra.** Robert Andrews Millikan (1868–1953) amerikai kísérleti fizikus. Az elektron töltésének pontos megméréséért 1923-ban Nobel-díjat kapott




**2. 3. ábra.** Az elektron töltésének meghatározására végzett Millikan-féle kísérlet vázlata

## 3 Tisztázzuk, hogyan mérték meg az elektron töltését

*R. Millikan* (2. 2. ábra) a XX. század elején dolgozta ki azt a módszert, amelynek segítségével meghatározta az elektron töltését. A kísérlet vázlata a 2. 3. ábrán látható. A különneműen töltött lemezek töltésének mértéke folyamatosan változtatható. A lemezek közötti térbe egy speciális porlasztó segítségével olajcseppeket juttatott. A befecskendezés során nagyon apró cseppek keletkeztek, amelyek egy része negatív töltést hordozott. A tudós minden alkalommal egy bizonyos negatívan töltött cseppet figyelt. Mivel a cseppek rendkívül kicsik, a megfigyelést mikroszkóppal végezte.

A lemezek közötti térbe került cseppre két erő hat: a nehézségi $F_n$ és a töltéssel rendelkező lemezek által keltett elektromos tér $F_{el}$ ereje. Eközben az $F_{el}$ elektromos erő felfelé, az $F_n$ lefelé irányul. Folyamatosan növelve vagy csökkentve a lemez töltését, Millikan igyekezett a cseppecskét nyugalomba tartani. Nyilvánvaló, hogy ez akkor következett be, amikor a lemezek elektromos terének részéről ható erő kiegyenlítette a nehézségi erőt ($F_{el} = F_n$). Figyelembe véve az erők egyenlőségét és azt, hogy a töltésre ható $F_{el}$ erő arányos a töltés nagyságával, kiszámította a csepp töltését.

A kísérlet többszöri megismétlésével (a tudománytörténészek azt állítják, a kísérletek 4 évig tartottak). Millikan tisztázta, hogy a $q$ töltés minden esetben egész számú többszöröse volt egy bizonyos $e = -1{,}60210 \cdot 10^{-19}$ C legkisebb töltésnek. Vagyis $q = Ne$, ahol $N$ egész szám.

A vizsgált olajcseppek elektronfelesleggel, vagyis negatív töltéssel rendelkeztek. Ezért a tudós arra a következtetésre jutott, hogy a legkisebb töltés az elektron töltése.

Millikantól függetlenül ugyanilyen méréseket végzett *A. F. Joffe* orosz tudós (2. 4. ábra), csak ő az olajcseppek helyett fémport használt.

A két tudós munkájának nem csak az a legfontosabb eredménye, hogy pontosan meghatározták az elektron töltését, de az is, hogy bebizonyították az elektromos töltés diszkrét (kvantált) jellegét.

## 4 Megismerkedünk az elektromos tér szervezetre gyakorolt hatásával

Kísérletileg bizonyított, hogy a Föld felszíne negatív töltésű, az atmoszféra felső rétege pedig pozitív, tehát az atmoszférában elektromos tér van. A

civilizáció fejlődésével az a természetes tér az ember által használt elektrotechnikai berendezések által létrehozott elektromos terekkel bővült.

Ma már az is ismert, hogy a szervezet sejtjei és szövetei szintén elektromos teret hoznak létre maguk körül. Mérésüket és rögzítésüket széleskörűen alkalmazzák a különböző betegségek diagnosztizálásában (elektroencefalográfia, elektrokardiográfia, elektroretinográfia stb.).

Tehát valóságos hálóban élünk, amelyet nagyszámú elektromos tér hoz létre. Hosszú ideig úgy tartották, hogy ennek nincs hatása a szervezetre. Azonban a szervezet sejtjeire és szöveteire különösen a hosszú ideig tartó külső elektromos tér negatív hatást gyakorolhat.

**2. 4. ábra**. Abram Fedorovics Joffe (1880–1960) orosz, szovjet fizikus; Ukrajnában született. Jelentősen hozzájárult a dielektrikumok és félvezetők fizikájának fejlesztéséhez; kezdeményezője volt a harkivi és a dnyipropetrovszki fizikai-technikai intézetek létrehozásának

Így például a számítógép működésekor a képernyőn elektromos töltések halmozódnak fel, amelyek elektromos teret hoznak létre. Az elektromos tér létrejöttében közrejátszik a billentyűzet és az egér, amelyek a súrlódás következtében tesznek szert töltésre. Ezeknek a tereknek a hatására még rövid ideig tartó munka esetén is megváltozik a felhasználó hormonállapota és agyának bioárama, ami az emlékezet romlását, fáradékonyságot okoz. Ezek az első tünetegyüttesek a munkaidő növelése esetén a szervezet ideg, immun-, szív- és érrendszeri, valamint más megbetegedéseihez vezethetnek.

Mi a teendő? Hiszen nagyon nehéz teljesen lemondani a komputeren végzett munkáról, a tévézésről, bármilyen háztartási gép használatáról, ami szintén elektromos tér forrása. A probléma megoldható a tér csökkentésével, például a levegő nedvességtartalmának növelésével, vagy antisztatikus anyagok használatával. Hatékonyabb, de egyben drágább megoldás a levegő mesterséges ionizálása, könnyű negatív ionokkal való telítése. Ebből a célból ionizátorokat (aeroionizátorokat) alkalmaznak.

### Összegzés

Ha a térben megnyilvánul az erő hatása az elektromos töltésekre, azt mondják, hogy a térben elektromos tér létezik.

Az elektromos tér az anyag egy különleges fajtája, amely a töltéssel rendelkező testek vagy részecskék körül létezik és bizonyos erővel hat más töltéssel rendelkező részecskékre vagy testekre.

Azt a tényt, hogy az elektromos tér bizonyos erővel hat a töltéssel rendelkező részecskékre és testekre, R. Millikan és A. F. Joffe az elektron töltésének meghatározására ($e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C), valamint az elektromos töltés diszkrét jellegének bizonyítására használta.

A külső elektromos terek hatásától függ az általános közérzet, a figyelem, munkaképesség, az ember életfontosságú szerveinek működése.

### Ellenőrző kérdések

1. Hogyan lehet kísérletileg bizonyítani, hogy az elektromos töltéssel rendelkező testek a távolban is kölcsönhatnak? 2. Mi az elektromos tér? 3. Hogyan lehet meggyőződni arról, hogy a tér adott pontjában elektromos tér létezik? 4. Ki mérte meg először az elektron töltését? 5. Ismertessétek az elektromos töltés diszkrét jellegét igazoló kísérletet! 6. Milyen hatást fejtenek ki az ember szervezetére a különböző elektrotechnikai eszközök által keltett elektromos terek?

### 2. gyakorlat

1. Rendelkezhet-e a részecske $8 \cdot 10^{-19}$ C töltéssel? $-2{,}4 \cdot 10^{-19}$ C töltéssel? $2{,}4 \times \times 10^{-18}$ C töltéssel? Miért?
2. Hány darab elemi töltésnek felel meg az 1 C nagyságú töltés?
3. Milyen nagyságú volt a kölcsönhatás az olajcsepp és a feltöltött lemezek között R. Millikan kísérletében, ha az olajcsepp tömege 0,3 mg volt?

### Kísérleti feladat

1. Ajánljatok néhány, az elektromos tér kimutatására szolgáló indikátort, és próbáljátok ki őket!
2. Készítsetek elő egy fellazított, legfeljebb 1 cm átmérőjű vattacsomót. Elektromozzatok egy műanyag vonalzót és helyezzétek rá a vattacsomót. Hirtelen megrázva a vonalzót, érjétek el, hogy a csomó „ússzon" fölötte a levegőben. Magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget. Készítsetek rajzot és tüntessétek fel rajta a vattacsomóra ható erőket!

## 3. §. AZ ELEKTROMOZÁS MECHANIZMUSA. ELEKTROSZKÓP

Úgy tartják, hogy az elektromágneses jelenségek rendszeres vizsgálatát *W. Gilbert* angol tudós kezdte el (3. 1. ábra). Azonban a testek elektromozását több mint három évszázad múlva tudták csak meghatározni – az elektron felfedezését követően. A fizikusok kiderítették, hogy az atom könnyen felvesz vagy lead elektronokat. Az eközben keletkezett részecskét jól ismeritek a kémiából. Ez az *ion*. Nyilvánvaló, hogy az ion töltéssel rendelkező részecske. Ebből a paragrafusból pedig megtudhatjátok azt, hogyan történik a makroszkopikus testek elektromozása és azt is, miben különböznek az anyagok elektromos tulajdonságaik alapján.

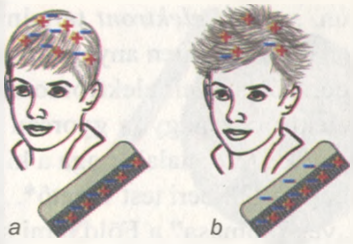
**3. 1. ábra.** William Gilbert (1544–1603) angol fizikus és orvos, az elektromosságról szóló tudomány megalapítója

### 1 Megvizsgáljuk a dörzsölés általi elektromozást

Felhasználva az atomszerkezeti ismereteinket, megvizsgáljuk a *dörzsölés általi elektromozást*. Veszünk egy ebonitrudat és gyapjúval dörzsöljük. Ebben az esetben, mint azt már tudjátok, a pálca negatív töltést kap. Tisztázzuk, mi okozta ennek a töltésnek a létrejöttét.

A dörzsölés megkezdése előtt a pálca és a gyapjú is elektromosan semleges volt. *Két különböző anyagból*

*készült test szoros érintkezésekor az elektronok egy része az egyik testről átmegy a másikra.* Az elektronok elmozdulásának mértéke ilyenkor nem haladja meg az atomok közötti távolságot. Ha az érintkezést követően a testeket szétválasztják, töltéssel fognak rendelkezni: *az a test, amelyik leadta az elektronjainak egy részét, pozitív töltésű, amelyik felvette, negatív töltésű lesz.* A gyapjú kevésbé erősen tartja az elektronjait, mint az ebonit, ezért érintkezéskor az elektronok főként a gyapjúról mennek át az ebonitrúdra és nem fordítva. Hasonló eredményt lehet elérni, ha a száraz hajat műanyag fésűvel fésülik (3. 2. ábra).




**3. 2. ábra.** Fésülködés előtt a pozitív töltések száma a fésűn és a hajon megegyezik a negatívokéval (*a*); fésülködés közben az elektronok egy része a hajról a fésűre jut, ennek eredményeként a haj pozitívan, a fésű pedig negatívan töltődik fel (*b*)

Meg kell jegyezni, hogy az általánosan elfogadott dörzsölés általi elektromozás nem teljesen pontos, pontosabb lenne az érintés általi elektromozásról beszélni, mivel csak azért dörzsöljük össze a testeket, hogy megnöveljük az érintkezési felület nagyságát.

## 2 Az elektromos töltés megmaradásának törvénye

Ha a paragrafus első pontjában leírt kísérletben a pálca és a gyapjú a dörzsölés megkezdése előtt nem voltak feltöltve, akkor az érintkezésük után a töltésük abszolút értékükre nézve egyenlők, előjelüket nézve pedig ellentétesek lesznek. Vagyis az össztöltésük, akárcsak korábban, nulla lesz. Számos kísérlet alapján a fizikusok megállapították, hogy *az elektromozás közben a létező töltések újraelosztása történik, nem pedig újak kialakulása.* Tehát teljesül **a töltések megmaradásának törvénye.**

A zárt rendszert alkotó testek vagy részecskék össztöltése **változatlan marad** minden, ebben a rendszerben történő kölcsönhatás során:

$$q_1 + q_2 + \ldots + q_n = const,$$

ahol $q_1$, $q_2$, ... $q_n$ a zárt rendszert alkotó testek vagy részecskék töltése ($n$ ezeknek a testeknek vagy részecskéknek a száma).

*Zárt rendszer alatt olyan test- vagy részecskerendszert értenek, amelyek csak egymással állnak kölcsönhatásban, vagyis nincsenek kölcsönhatásban más testekkel vagy részecskékkel.*

## 3 Leföldeljük a műszereket és berendezéseket. Megkülönböztetjük a vezetőket és a szigetelőket

Ha dörzsöléssel megpróbáljuk elektromozni a kezünkben tartott fémpálcát, kiderül, hogy ez csaknem lehetetlen. Az a helyzet, hogy a fémek végtelen sok

ún. *szabad elektront* tartalmaznak, amelyek szabadon mozognak a fizikai testben. Az ilyen anyagokat *vezetőknek* nevezzük. A kézben tartott fémpálca dörzsölés általi elektromozására tett kísérlet ahhoz vezet, hogy a fölösleges elektronok nagyon gyorsan „elszöknek", a pálca pedig töltetlen marad. A „szökés útvonala" maga a kísérletező személy, hiszen a mérések kimutatták, hogy az emberi test vezető*. Általánosságban elmondható, hogy az elektronok „végállomása" a Föld, ami szintén vezető. Mérete óriási, ezért, ha bármely töltéssel rendelkező testet vezető segítségével összekötünk a földdel, egy idő elteltével gyakorlatilag elektromosan semlegessé válik. A pozitív töltésű testek egy bizonyos mennyiségű elektront kapnak a földtől, a negatív töltéssel rendelkező testekről pedig az elektronfelesleg a földbe távozik.

Azt a műszaki eljárást, amely lehetővé teszi bármely töltéssel rendelkező test kisütését, *földelésnek* nevezzük.

Egyes esetekben, amikor például töltést kell közölni a vezetővel, vagy meg kell őrizni a töltést, kerülni kell a földelést. Ehhez szigetelő anyagokból (*dielektrikumokból*) készült testeket alkalmaznak. A szigetelőkben gyakorlatilag nincsenek szabad elektronok; ahhoz, hogy az elektronok szabaddá váljanak és elhagyják az atomot, plusz energiát kell közölni velük. Ha a föld és a töltéssel rendelkező test közé szigetelő formájában akadályt állítunk, akkor a szabad elektronok nem tudják elhagyni a vezetőt (vagy bejutni a vezetőbe) így a vezető töltése megmarad.

Az üveg, a szerves üveg, az ebonit, a borostyán, a gumi és a papír – dielektrikum, mivel az elektrosztatikai kísérletekben könnyen elektromossá válnak. (A vezetőkről és szigetelőkről részletesen a 2. fejezetben tanultok majd.)

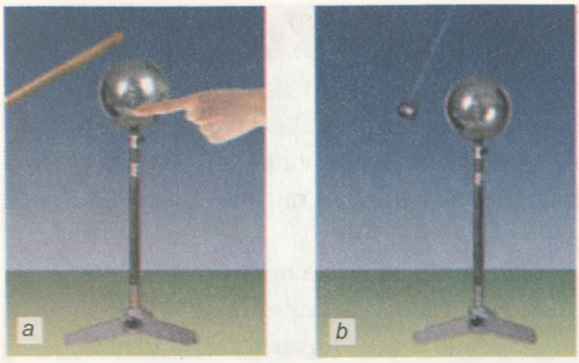
## 4 Bemutatjuk az elektromos állapot létrehozását megosztással

Elvégzünk egy kísérletet. Veszünk egy negatívan töltött ebonitrudat és egy szigetelt állványon lévő töltetlen fémgömbhöz közelítjük. Azután egy pillanatra kezünkkel megérintjük a gömbnek az ebonitpálcától távolabbra eső részét (3. 3. *a* ábra). Ezután eltávolítjuk a töltéssel rendelkező testet. A könnyű, pozitívan töltött golyók elhajlása jelzi, hogy a gömb töltésre tett szert (3. 3. *b* ábra). Figyeljétek meg: a gömb töltése ellentétes az ebonitpálca töltésével.

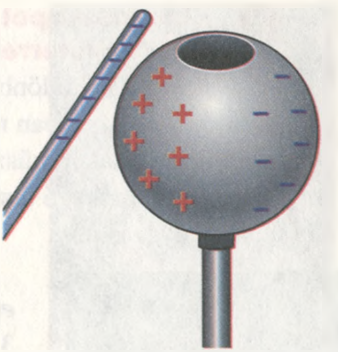
Mivel ebben az esetben a töltéssel rendelkező, illetve nem rendelkező testek nem kerültek közvetlen érintkezésbe egymással, a leírt folyamatot *elektromos megosztásnak* vagy *elektrosztatikus indukciónak* nevezzük.

Az elektromos megosztást a következőképpen magyarázzuk. A negatívan töltött pálca elektromos terének hatására az elektronok átcsoportosulnak a

* Mivel az ember teste jó vezető, ezért az egyes elektromos kísérletek veszélyesek lehetnek a kísérletező személyre nézve.




**3. 3. ábra.** A gömb feltöltése elektromos megosztással (*a*); a töltés kimutatására a pozitívan töltött léggömb szolgál, amely elhajlik a gömbtől, vagyis a gömb szintén pozitív töltéssel rendelkezik (*b*)

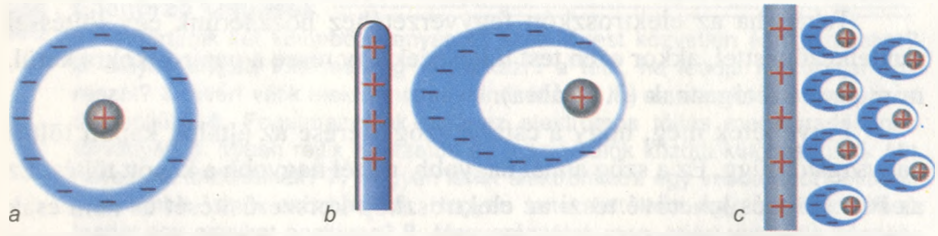


**3. 4. ábra.** A negatív töltésű rúd elektromos terének hatására a gömb hozzá közelebb eső része pozitív töltésű lesz

fémgömb felületén. Mivel az elektronok töltése negatív, azok taszítódnak az azonos neműen töltött rúdtól, ezért a gömbnek a rúdtól távolabbi felén elektrontöbblet, míg a közelebbin elektronhiány alakul ki (3. 4. ábra). Ha megérintjük a gömböt, a szabad elektronok egy része a testünkre kerül. Így a gömbön elektronhiány keletkezik, vagyis pozitív töltésűvé válik.

Most, hogy tisztáztuk az elektromos megosztás kialakulását, nem lesz nehéz megmagyarázni, miért vonzódik a töltéssel nem rendelkező fémtárgy az elektromosan töltött testhez.

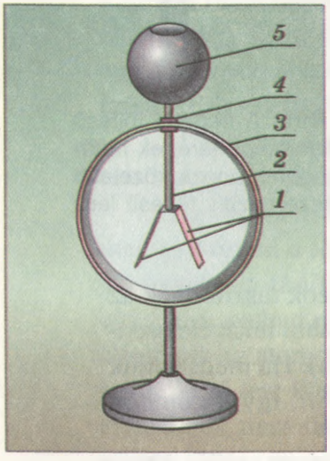
Nehezebb azt megmagyarázni, hogy miért vonzza az elektromozott rúd a papírdarabkákat. Ismeretes, hogy a papír dielektrikum, ezért rajta gyakorlatilag nincsenek szabad elektronok. Viszont a töltéssel rendelkező rúd hatást gyakorol azoknak az atomoknak a kötött elektronjaira, amiből a papír áll. Emiatt megváltozik – elnyújtottá válik – elektronfelhőik formája (3. 5. ábra). Ennek eredményeként a papírdarabka rúdhoz közelebb eső részén a rúd töltésével ellentétes töltés alakul ki, ezért a papír vonzódik a rúdhoz.




**3. 5. ábra.** A külső elektromos tér hatására az elektronfelhő alakja megváltozik. Az elektronfelhő alakja: elektromos tér hatása nélkül (*a*); tér hatására (*b*). A papírnak a pozitív töltésű rúdhoz közelebbi részén negatív töltés keletkezik (*c*)

## 5 Elektroszkópot készítünk és megismerkedünk az elektrométerrel

Mindeddig különböző segédeszközökkel tanulmányoztátok az elektromos jelenségeket. Azonban már elegendő tudással rendelkeztek ahhoz, hogy megértsétek azoknak a műszereknek a működési elvét, amelyek lehetővé teszik a töltéssel rendelkező testek jellemzőinek nem csak minőségi, de mennyiségi tanulmányozását is.




**3. 6. ábra.** Az elektroszkóp felépítése: *1* indikátor (papírcsíkok); *2* fémrúd; *3* doboz; *4* szigetelő a rúd csatlakozási helyén; *5* fegyverzet

A töltések kimutatására már régóta használják az *elektroszkópot*. Ennek a műszernek a felépítése a 3. 6. ábrán látható. Megmagyarázzuk a felépítését.

Minden elektromos jelenség elválaszthatatlanul összefügg az elektromos térrel. A 2. §-ból megtudtuk, hogy az elektromos teret ki lehet mutatni a könnyű, töltéssel rendelkező golyó elhajlásának segítségével. Azonban a golyó nem túl kényelmes jelzőeszköz, ezért jobb két vékony papírcsíkot használni (*1*). Miután töltéssel rendelkező testet érintünk hozzájuk, a töltés egy része rájuk kerül. Az azonos töltésű testek taszítják egymást, ezért a papírcsíkok kitérnek.

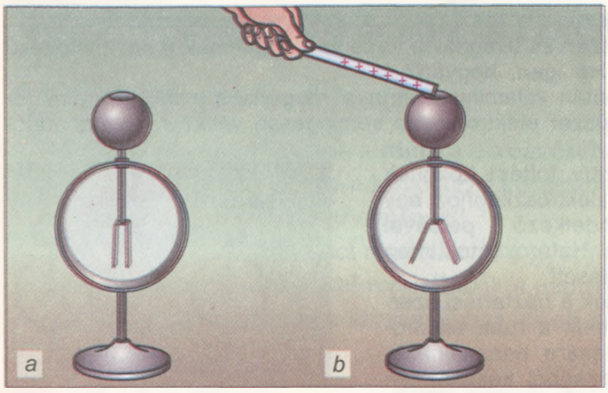
Hogy a műszer érzékenyebb legyen, a legvékonyabb papírt célszerű használni, ám akkor a mérések pontosságát a léghuzat, de akár a megfigyelő légzése is befolyásolhatja. Ennek kiküszöbölésére az indikátort átlátszó oldalfalú dobozban (*3*) helyezik el.

Ahhoz, hogy az indikátorhoz eljuttassák a töltést, vezetőket használnak: a fémrúd (*2*) egyik végéhez erősítik az indikátort, a másik végét pedig kivezetik. Így lehetővé válik a töltés bejuttatása a dobozba. Annak kivédésére pedig, hogy az elektromos töltés ne szökjön el a doboz és a rúd között, szigetelőt (*4*) alkalmaznak.

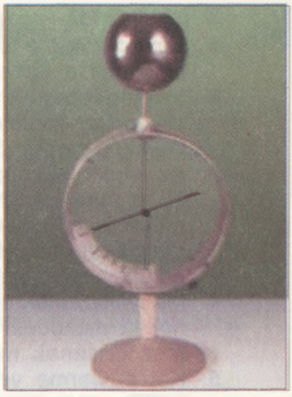
Végül az elektroszkóp utolsó szerkezeti eleme – a fegyverzet (*5*) – egy üreges fémgömb, amit a rúd felső végéhez erősítenek.

Tehát, ha az elektroszkóp fegyverzetéhez hozzáérünk egy töltéssel rendelkező testtel, akkor ezen test töltésének egy része a papírcsíkokra kerül, mire azok szétágaznak (3. 7. ábra).

Figyeljétek meg, hogy a csíkok szögkitérése az általuk kapott töltés nagyságától függ. Ez a szög annál nagyobb, minél nagyobb a kapott töltés. Ez az összefüggés lehetővé teszi az elektroszkóp korszerűsítését és nem csak minőségi, de mennyiségi mérésekre való használatát. Ehhez a doboz elülső falán skálát helyeznek el, a papírcsíkokat pedig könnyű, fémből készült mutatóra cserélik. Az ilyen műszert *elektrométernek* nevezik (3. 8. ábra).




**3. 7. ábra.** Ha az elektroszkóp nincs feltöltve, a papírcsíkok függőlegesen helyezkednek el (*a*); miután a töltéssel rendelkező test hozzáért a fegyverzethez, a csíkok szétágaznak (*b*)



**3. 8. ábra.** Elektrométer

## Összegzés

Ha a töltéssel nem rendelkező (elektromosan semleges) test leadja az elektronjai egy részét, akkor pozitív töltésűvé válik, ha pedig elektronokat kap, akkor negatív töltésűvé.

A testek elektromozása során a bennük lévő töltések átcsoportosítása zajlik, új töltések nem keletkeznek. A zárt rendszert alkotó testekre vagy részecskékre nézve teljesül a töltésmegmaradás törvénye: a testek vagy részecskék zárt rendszerének össztöltése változatlan marad minden, a rendszerben végbemenő kölcsönhatás során.

Elektromos tulajdonságaik szerint az anyagokat vezetőkre és szigetelőkre osztják. Azt a műszaki eljárást, amely lehetővé teszi bármilyen töltéssel rendelkező test kisütését úgy, hogy vezető segítségével összekötjük a földdel, földelésnek nevezzük.

Az olyan elektromozást, amikor a testek között nincs érintkezés, elektromos megosztásnak nevezik.

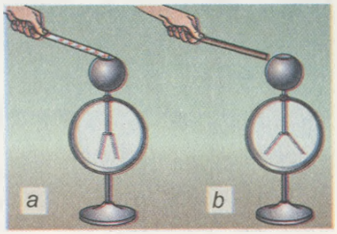
Az elektroszkóp az elektromos töltés kimutatására szolgáló műszer.

## Ellenőrző kérdések

1. Mi történik két különböző anyagból készült test közvetlen érintkezésekor? 2. Milyen előjelű töltéssel fog rendelkezni a test, ha leadja elektronjai egy részét? 3. Miért válik elektromossá mindkét test, ha az ebonitpálcát gyapjúval dörzsöljük? 4. Fogalmazzátok meg az elektromos töltés megmaradásának törvényét! 5. Miben rejlik a vezetők és a szigetelők közötti különbség? 6. Mit nevezünk földelésnek? 7. Hogyan lehet elektromozni egy vasdarabot? Mit kell figyelembe venni eközben? 8. Hogyan lehet feltölteni egy negatív töltésű testtel egy másikat pozitívan? 9. Magyarázzátok meg, miért vonzódik bármely töltéssel nem rendelkező test az elektromosan töltött testhez! 10. Mire használják az elektroszkópot? Milyen a felépítése és mi a működési elve? 11. Miben különbözik az elektrométer az elektroszkóptól?

## 3. gyakorlat

1. Különbözik-e a töltetlen szerves üvegpálca tömege ugyanannak a pozitív töltésű pálcának a tömegétől? Ha igen, hogyan?
2. Megtörténhet-e, hogy miután valamilyen tárggyal megérintik a feltöltött elektroszkóp fegyverzetét, a műszer elektromosan semlegessé válik? A választ indokoljátok meg!
3. Az elektroszkóppal pozitív töltést közöltek (1. *a* ábra). Azután az elektroszkóphoz egy másik, töltéssel rendelkező pálcával közelítettek (1. *b* ábra). Határozzátok meg ennek a pálcának a töltését!



1. ábra

4. Magyarázzátok meg annak a háztartási szernek a működési elvét, amit a ruha elektromozódásának meggátolására használnak!
5. Két egyforma vezető anyagból készült, feltöltött golyó összeért, majd azonnal eltávolodtak egymástól. Számítsátok ki a golyók érintkezés utáni töltését, ha előtte az első golyó töltése $-3 \cdot 10^{-9}$ C, a másiké pedig $9 \cdot 10^{-9}$ C volt!
6. A mozdonyvezető elmondta, hogy a benzin szállításakor mindig fennáll a tűzveszély. Ezért a tartálykocsik acéllánccal vannak ellátva, amelyek alsó láncszemei a földhöz érnek. Mi hihető és mi nem a mozdonyvezető közlésében? A választ magyarázzátok meg!
7. A töltéssel nem rendelkező alufóliából készített hüvely selyemcérnán függ. Töltéssel rendelkező pálcával közelítenek hozzá. Ismertessétek és magyarázzátok meg a hüvely további viselkedését!
8*. Hogyan lehet egy negatív töltésű fémgömb segítségével negatívan feltölteni egy ugyanakkora gömböt úgy, hogy közben az első gömb töltése nem csökken?

## Kísérleti feladatok

1. Készítsetek elektroszkópot egy műanyag fedővel ellátott befőttesüvegből (2. ábra). Az elektroszkóp rúdjaként kötőtűt, a papírcsíkok helyett pedig vékony fóliacsíkokat használjatok. Próbáljátok ki az általatok készített elektroszkóp működését!
2. A csapból folyó gyenge vízsugárhoz közelítsetek feltöltött vonalzóval (vagy fésűvel). Ismertessétek és magarázzátok meg a tapasztaltakat!

2. ábra

## 1. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** Az elektromosan töltött testek kölcsönhatásának tanulmányozása.

**Cél:** megvizsgálni két, töltéssel rendelkező test kölcsönhatását; egy töltéssel rendelkező és egy elektromosan semleges test kölcsönhatását.

**Eszközök:** két léggömb, selyemcérna, két ebonitpálca, két szerves üvegpálca, egy kis darab prém vagy gyapjúanyag, apró papírdarabok, állvány szorítócsavarokkal és fogókkal.

# ÚTMUTATÓ A MUNKA ELVÉGZÉSÉHEZ

## Felkészülés a kísérlethez

1. Mielőtt hozzákezdenétek a munka elvégzéséhez, győződjetek meg arról, hogy tudtok-e válaszolni a következő kérdésekre:
   1) Mit nevezünk elektromozásnak?
   2) Milyen előjelű töltéssel rendelkezik a gyapjúval dörzsölt ebonitpálca?
   3) Milyen előjelű töltéssel rendelkezik a papírral dörzsölt üvegpálca?
2. Kössetek selyemcérnát a szerves üveg- és ebonitpálcára, majd rögzítsétek az állvány fogójához!

## Kísérlet

1. Tanulmányozzátok a töltéssel rendelkező testek kölcsönhatását! Ehhez a következőket kell tenni.
   1) Töltsétek fel mindkét ebonitpálcát, gyapjúval vagy prémmel dörzsölve. Lassan közelítsétek az egyik ebonitpálcát a felfüggesztett ebonitpálcához. Ismertessétek és magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!
   2) Töltsétek fel mindkét szerves üvegpálcát papírral dörzsölve. Lassan közelítsétek az egyik üvegpálcát a felfüggesztett üvegpálcához. Ismertessétek és magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!
   3) Lassan közelítsetek a feltöltött ebonitpálcával a felfüggesztett, töltéssel rendelkező üvegpálcához. Ismertessétek és magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!
   4) Elektromozzátok a felfújt léggömböket gyapjúval vagy prémmel dörzsölve!
   5) Fogjátok a léggömböket a cérnánál fogva és helyezzétek őket azonos magasságba. Lassan közelítsétek egymáshoz őket. Ismertessétek és magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!
2. Tanulmányozzátok a töltéssel rendelkező, illetve elektromosan semleges testek kölcsönhatását! Ehhez a következőket kell tenni.
   1) Közelítsétek a feltöltött léggömböt az apró papírdarabkákhoz. Magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!
   2) Gyengén nyomjátok a feltöltött léggömböt a falhoz, majd engedjétek vissza. Magyarázzátok meg a megfigyelt jelenséget!

## A kísérlet eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérlet eredményeit, vonjatok le következtetést az egyneműen és a különneműen töltött, valamint a töltéssel rendelkező, illetve az elektromosan semleges testek kölcsönhatásának jellegéről!

## Alkotói feladat

Tanulmányozzátok a töltéssel rendelkező testek kölcsönhatásának erejét töltésük abszolút értékének függvényében. Használjatok kb. 2 cm átmérőjű két kis léggömbdarabkából készített és grafittal metálfényűre dörzsölt gömböt. Ismertessétek a kísérlet tervét!

## 4. §. COULOMB TÖRVÉNYE

?! Ahhoz, hogy beindítsák a mechanikus órát, felhúzzák a rugóját; hogy a gépkocsi kevésbé rázzon, speciális berendezést, ún. torziós rugót alkalmaznak. Álljunk csak meg,– mondhatjátok,– de hiszen mi az elektromosságot tanulmányozzuk, a rugók pedig a mechanikához tartoznak. Ne siessetek a következtetésekkel. Ebből a paragrafusból megtudhatjátok, hogyan segített a huzal rugalmassági tulajdonságainak vizsgálata az elektrosztatika egyik alaptörvényének felfedezésében.

### 1 Bevezetjük a pontszerű töltés fogalmát

A XVIII. század végéig az elektromos jelenségeket csupán minőségileg kutatták. Az elektromos gépek csak az arisztokraták szórakoztatására szolgáló játékszerek voltak. A mennyiségi jellemzőkre való átmenet, majd pedig az elektromosság gyakorlati felhasználása akkor vált lehetségessé, amikor Ch. Coulomb francia kutató (lásd az 1. 5. ábrát) 1785-ben felfedezte *a pontszerű töltések kölcsönhatásának törvényét*. A törvény felfedezése után az elektromosság egzakt tudománnyá fejlődött.

Mielőtt tanulmányozzuk a törvényt, tisztázni kell a „pontszerű töltés" fogalmát. Felhasználunk egy mechanikai analógiát, hiszen a pontszerű töltés fogalma hasonlít az „anyagi ponthoz". Emlékezzetek vissza az előző évi fizika tananyagra. Például anyagi pontnak tekinthetjük a Kijev–Lviv között közlekedő vonatot, ha a két város között megtett elmozdulásának grafikonját szeretnénk megrajzolni. A hangyát azonban nem tekinthetjük anyagi pontnak, ha tegyük fel, az egyik elülső lábának kell megállapítani a mozgáspályáját.

Hasonlóképpen az anyagi ponthoz, *pontszerű töltésnek nevezik az olyan töltéssel rendelkező testet, amelynek a méretei elhanyagolhatók a közte és a vizsgált testek közötti távolsághoz képest.*

Ebből a meghatározásból kiindulva R. Millikan kísérletében (lásd a 2. §. 3. pontját) az olajcseppet anyagi pontnak tekinthetjük, míg a töltéssel rendelkező lemezeket nem.

Tehát a pontszerű töltés az anyagi ponthoz és a pontszerű fényforráshoz hasonlóan nem valóságos objektum, hanem fizikai modell. Ennek a modellnek a bevezetését az teszi szükségessé, hogy általánosságban a töltéssel rendelkező testek kölcsönhatása sok tényezőtől függ, tehát nincs egy olyan egységes, egyszerű képlet, amely bármilyen esetben leírná az elektromos kölcsönhatást.

### 2* Megismerkedünk a torziós mérleg felépítésével

Ch. Coulomb hadmérnök az elektrosztatikától igencsak távoli területen kezdett kísérletezni. A cérnák rugalmas csavarásának törvényszerűségeit fedezte fel és megállapította a rugalmassági erő és az elcsavarodás szöge közötti összefüggést. Az eredmények lehetővé tették Coulomb számára egy rendkívül érzékeny műszer megalkotását, amit *torziós mérlegnek* nevezett el (felépítése a 4. 1. *a* ábrán látható).

A tudós éppen a torziós mérleget használta fel később a pontszerű töltések közötti kölcsönhatási erő meghatározására.

## 3* Megtudjuk, mitől függ két pontszerű töltés kölcsönhatásának ereje

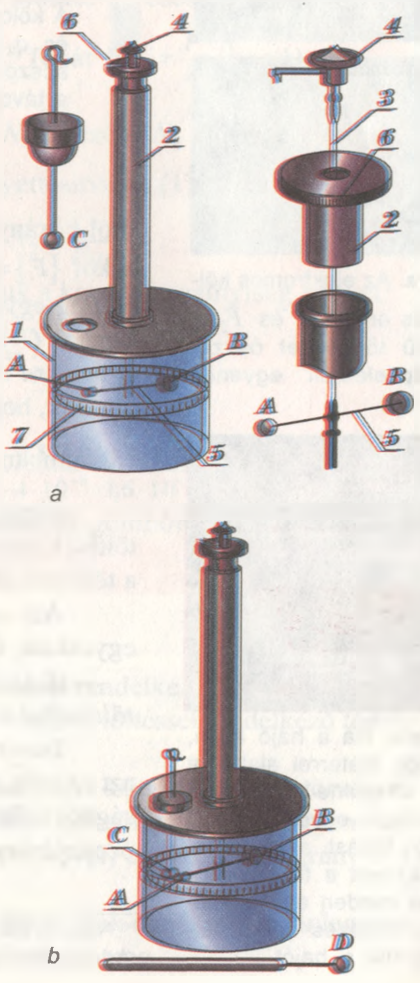
Kísérleteiben Coulomb a töltéssel rendelkező golyók kölcsönhatását vizsgálta. A kísérlet feltételei lehetővé tették, hogy ezeket a golyókat pontszerű töltésnek tekintse. A kísérletet a tudós a következőképpen végezte. Az üveghengerbe egy speciális tartóra helyezték a $C$ töltéssel rendelkező gömböt (4. 1. *b* ábra). A henger felső fedelét forgatva a kísérletező arra törekedett, hogy az $A$ és $C$ gömbök összeérjenek, és a $C$ gömb töltésének egy része átkerüljön az $A$ gömbre. Az egynemű töltések taszítják egymást, ezért a gömbök egy bizonyos távolságra kerültek egymástól. A huzal elcsavarodási szöge alapján Coulomb meghatározta a töltések kölcsönhatásának erejét.

Azután a henger felső fedelét forgatva a kísérletező megváltoztatta az $A$ és $C$ gömbök közötti távolságot és újra meghatározta kölcsönhatásuk erejét. Kiderült, hogyha a távolságot felére, harmadára, negyedére csökkentette a kölcsönhatási erő megfelelően négy-, kilenc-, tizenhatszorosára nőtt.

Számos hasonló kísérlet elvégzése után Coulomb azt a következtetést vonta le, hogy *két pontszerű töltés között ható erő $F$ fordítottan arányos a közöttük lévő távolság négyzetével $R$:*

$$F \square \frac{1}{R^2}.$$

Vajon hogyan függ az $F$ erő a töltések értékétől? Abban az időben még nem létezett módszer a töltések mérésére, ezért Coulomb a következőképpen járt el. A tudós először megmérte két ugyanakkora nagyságú, és azonos $q$ töltéssel rendelkező $A$ és $C$ gömb kölcsönhatásának erejét. Majd egy pilla-

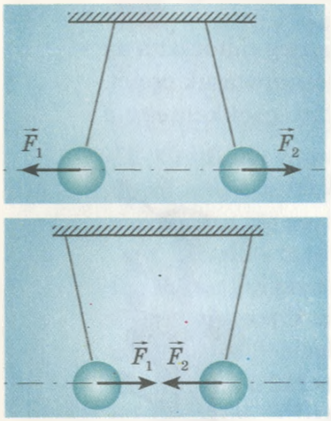



**4. 1. ábra.** *a* – torziós mérleg felépítése. A műszer egy üveghengerbe van beépítve (*1*). A henger felső fedeléhez egy cső (*2*) van rögzítve, amelynek belsejében rugalmas huzal (*3*) található. Ezt egy forgófejhez (*4*) rögzítették. A huzal alsó végére egy emelőkart (*5*) akasztottak, amelynek a végeihez rögzítették a vizsgált objektumot (az *A* golyót), illetve az ellensúlyt (*B*). A fedélen található résen keresztül leeresztik a *C* golyót. Az elcsavarodási szöget két, fokbeosztású skála segítségével állapítják meg: az egyik (*6*) a forgó fedélen, a másik (*7*) az üveghenger oldalfelszínén; *b* – torziós mérleg Coulomb kísérlete során

natra hozzáért a $C$ gömbhöz egy ugyanakkora, töltetlen $D$ gömbbel. Mivel a gömbök méretei egyformák voltak, a töltés egyenlően megoszlott a $C$ és a $D$ gömbök között. Tehát a $C$ gömbön $\frac{q}{2}$ töltés maradt. Ezután Coulomb megmérte a $q$ és a $\frac{q}{2}$ töltések közötti kölcsönhatási erőt.

Hasonlóképpen eljárva, a tudós meggyőződött arról, hogy a $q_1$ és a $q_2$ pontszerű töltések között ható $F$ kölcsönhatási erő arányos ezeknek a töltéseknek a szorzatával:

$$F \sim q_1 q_2.$$




**4. 2. ábra.** Az elektromos kölcsönhatás ereje $\vec{F}_1$ és $\vec{F}_2$ a pontszerű töltéseket összekötő képzeletbeli egyenes mentén hat

**4. 3. ábra.** Ha a hajó alján, illetve egy méterrel alatta, a vízben sikerülne elhelyezni két egynemű, egyenként 1 C nagyságú töltést, akkor le lehetne küzdeni a föld vonzóerejét és minden egyéb speciális berendezés nélkül felemelhetnénk a hajót

## 4 Megfogalmazzuk Coulomb törvényét

Az elvégzett kísérletek alapján Coulomb felállította azt a törvényt, amelyet nem sokkal később róla neveztek el:

A kölcsönhatási $F$ erő két mozdulatlan, pontszerű $q_1$ és $q_2$ töltés között egyenesen arányos a töltések abszolút értékeinek szorzatával és fordítottan arányos a távolságuk négyzetével $R$:

$$F = k\frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

ahol $k$ arányossági tényező. Ha $q_1 = q_2 = 1$ C, $R = 1$ m, akkor $\{F\} = \{k\}$. Vagyis *az arányossági tényező számbelileg egyenlő azzal az erővel, amellyel két, egyenként 1 C töltéssel rendelkező pontszerű töltés hat egymásra a vákuumban** 1 m *távolságból*. Megállapították, hogy a pontszerű töltések kölcsönhatásakor a vákuumban $k = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.

Figyeljétek meg, hogy Coulomb törvényében a töltések abszolút értékeinek a szorzatáról van szó, mivel a töltések előjele csupán az erő irányára van hatással.

Azt az erőt, amellyel két pontszerű töltés hat egymásra, **Coulomb-féle erőnek** is szokták nevezni.

*A Coulomb-féle erő a kölcsönható pontszerű töltéseket összekötő egyenes mentén hat* (4. 2. ábra).

Ismerve a $k$ együttható értékét, meghatározhatjuk azt az erőt, amellyel két, egyenként 1 C töltés 1m távolságból kölcsönhat. Ez a hatalmas erő megegyezik egy óceánjáróra ható nehézségi erővel (4. 3. ábra).

* Nagyon sok közegben ez az erő kevesebb lesz, mint vákuumban. A levegőben mért értéke a vákuumhoz viszonyítva alig változik.

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Két kicsiny, negatív töltésű gömb a levegőben egymástól 30 cm-re helyezkedik el. Kölcsönhatásuk ereje 0,32 N. Számítsátok ki a második gömb többletelektronjainak a számát, ha az első gömb töltése $4 \cdot 10^{-6}$ C! A gömböket tekintsük pontszerű töltéseknek!

Adva:
$R = 0{,}3$ m
$F = 0{,}32$ N
$q_1 = 4 \cdot 10^{-6}$ C
$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

$N_2 - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

Ahhoz, hogy meghatározhassuk a többletelektronok számát, jusson eszünkbe az elektromos töltés diszkrét jellege: $|q| = N \cdot |e|$, ahol az $N$ a többletelektronok száma és az $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

A $q$ töltés meghatározásához felhasználjuk Coulomb törvényét.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}$. Tehát $|q_2| = \frac{F \cdot R^2}{k \cdot |q_1|}$ **(1)**.

Mivel $|q_2| = N_2|e|$, ezért $N_2 = \frac{|q_2|}{|e|}$ **(2)**.

A (2)-t behelyettesítve az (1)-be kapjuk:

$$N_2 = \frac{FR^2}{k|q_1| \cdot |e|}.$$

Meghatározzuk a keresett mennyiség értékét:

$$[N_2] = \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \text{C} \cdot \text{C}} = 1;$$

$$\{N_2\} = \frac{0{,}32 \cdot 0{,}09}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{12}.$$

*Felelet*: A második gömbön $5 \cdot 10^{12}$ többletelektron van.

## Összegzés

Pontszerű töltésnek nevezik azt a töltéssel rendelkező testet, amelynek méretei elhanyagolhatók a közte és a többi vizsgált, töltéssel rendelkező testek közötti távolsághoz képest.

Két nyugalomban lévő pontszerű töltésre nézve teljesül Coulomb törvénye: két nyugalomban lévő pontszerű töltés közötti kölcsönhatás ereje egyenesen arányos a töltések modulusával (abszolút értékével) és fordítottan arányos a közöttük lévő távolság négyzetével.

Coulomb a pontszerű töltések kölcsönhatásának erejét egy különlegesen megszerkesztett torziós mérleg segítségével mérte meg.

## Ellenőrző kérdések

1. Milyen töltést nevezünk pontszerűnek? Hasonlítsátok össze a pontszerű töltés és az anyagi pont fogalmakat! 2*. Ismertessétek a torziós mérleg szerkezetét és működésének elvét. 3*. Hogyan bizonyította be Coulomb, hogy két pontszerű töltés kölcsönhatási ereje fordítottan arányos a távolságuk négyzetével? 4*. Ismertessétek azt az eljárást, amit Coulomb azért alkalmazott, hogy tisztázza, hogyan függ a két pontszerű töltés közötti kölcsönhatás ereje a töltések modulusának értékétől! 5. Fogalmazzátok meg Coulomb törvényét! 6. Miért kötelező használni Coulomb törvényének megfogalmazásakor a pontszerű töltés fogalmát?

## 4. gyakorlat

*(A gyakorlat feladatainak megoldása során tekintsétek úgy, hogy nyugalomban lévő, pontszerű töltésekkel van dolgunk.)*

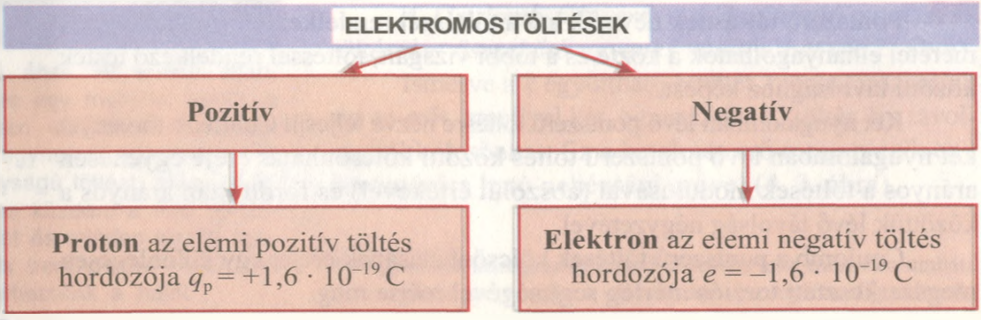
1. Milyen a kölcsönhatási erő két, egyenként $1 \cdot 10^{-4}$ C nagyságú töltés között, ha vákuumban 1 m-re vannak egymástól?
2. Hogyan változik két töltés kölcsönhatási ereje, ha mindegyiket kétszeresére növeljük, a köztük lévő távolságot pedig négyszeresére?
3. Hogyan változott két töltés között a távolság, ha kölcsönhatásuk ereje 9-szeresére nőtt?
4. Két, egymástól 10 cm-re elhelyezkedő gömbnek egyenlő negatív töltése van. Határozzátok meg a golyók közötti kölcsönhatási erőt, ha mindegyiknek $1 \cdot 10^{11}$ db többletelektronja van!
5*. Két egyforma fémgömböt úgy töltöttek fel, hogy az egyik töltése 5-szöröse a másikénak. A gömböket összeérintették, majd ismét az eredeti távolságra helyezték őket egymástól. Hányszorosára változott a kölcsönhatásuk ereje, ha egynemű töltésük volt? Ha különböző nemű?

## AZ ELEKTROMOS TÉR CÍMŰ FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA

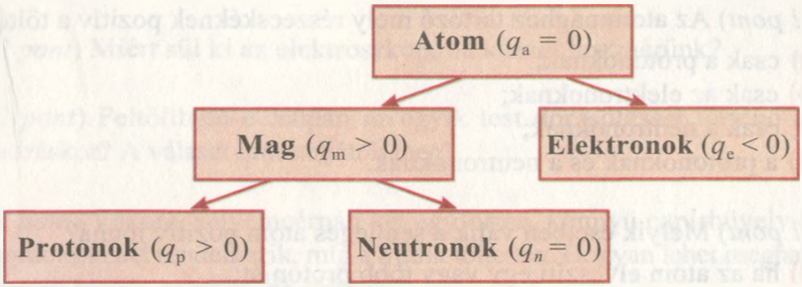
**1.** Az első fejezetben megismerkedtetek egy új fizikai mennyiséggel – az *elektromos töltéssel.*

**Az ELEKTROMOS TÖLTÉS a részecskéknek vagy testeknek az elektromágneses kölcsönhatásba lépését jellemző fizikai mennyiség.**

**2.** Megtudtátok, hogy *kétféle elektromos töltés létezik.*

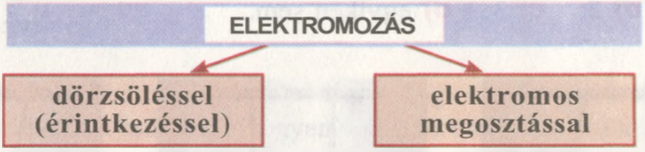


**3.** Felidéztétek az *atom szerkezetét.*




Ha az atom lead egy vagy több elektront, *pozitív ionná* válik, ha pedig felvesz, akkor *negatív ionná.*

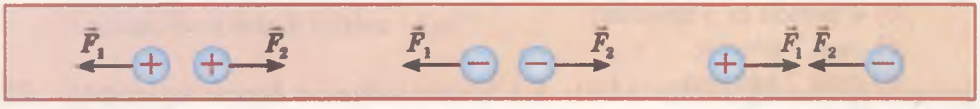
**4.** Tisztáztátok, hogy *a makroszkopikus testek töltésfelvételét* ***elektromozásnak*** *nevezzük.* Elektromozás közben a test mindig *felvesz vagy lead bizonyos számú elektront.*



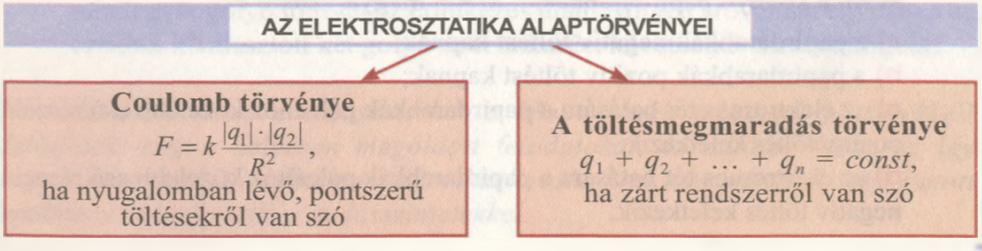

**5.** Megtudtátok, hogy *bármely töltött test az elektromos tér forrása.*

**Az ELEKTROMOS TÉR az anyag különleges formája, amely a töltéssel rendelkező testek vagy részecskék körül létezik és bizonyos erővel hat más, töltéssel rendelkező részecskékre vagy testekre.**

**6.** Bebizonyítottátok, hogy *a töltéssel rendelkező testek kölcsönhatása az elektromos tér által megy végbe.*




**7.** Megtanultátok *az elektrosztatika alaptörvényeit.*



## ELLENŐRZŐ FELADATOK AZ 1. FEJEZETHEZ

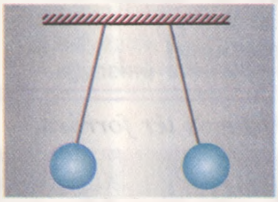
**1.** (*1 pont*) Az atommaghoz tartozó mely részecskéknek pozitív a töltésük?

**a)** csak a protonoknak;
**b)** csak az elektronoknak;
**c)** csak a neutronoknak;
**d)** a protonoknak és a neutronoknak.

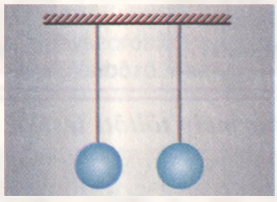
**2.** (*1 pont*) Melyik esetben válik a semleges atom pozitív ionná?

**a)** ha az atom elveszíti egy vagy több protonját;
**b)** ha felvesz egy vagy több neutront;
**c)** ha felvesz egy vagy több elektront;
**d)** ha lead egy vagy több elektront.

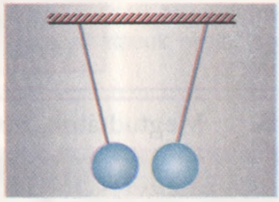
**3.** (*1 pont*) Az 1–3. ábrákon három pár könnyű, selyemcérnára függesztett golyó látható. Melyik ábrán láthatók egynemű töltéssel rendelkező golyók?
**a)** 1; **b)** 2; **c)** 3; **d)** egyiken sem.



1. ábra



2. ábra



3. ábra

**4.** (*1 pont*) A lítiumatom magjában 7 részecske van, a mag körül 3 elektron kering. Hány proton, illetve neutron van ennek az atomnak a magjában?

**a)** 3 proton és 4 neutron;
**b)** 4 proton és 3 neutron;
**c)** csak 7 proton;
**d)** csak 7 neutron.

**5.** (*1 pont*) A szőrmével dörzsölt ebonitpálca negatív töltésre tett szert, és vonzani kezdi a könnyű papírdarabkákat. Mivel magyarázható ez?

**a)** a papírdarabkák negatív töltést kapnak;
**b)** a papírdarabkák pozitív töltést kapnak;
**c)** az elektromos tér hatására a papírdarabkák pálcához közelebb eső részein pozitív töltés keletkezik;
**d)** az elektromos tér hatására a papírdarabkák pálcához közelebb eső részein negatív töltés keletkezik.

**6.** (*2 pont*) Miért elektromozódnak az üvegből porlasztó segítségével szétszórt kölnivízcseppek?

**7.** (*2 pont*) Miért sül ki az elektroszkóp, ha kézzel hozzáérünk?

**8.** (*2 pont*) Feltölthető-e csupán az egyik test dörzsöléssel történő elektromozáskor? A választ indokoljátok meg!

**9.** (*2 pont*) Vékony selyemcérnán két egyforma, könnyű papírhüvely lóg. Az egyik töltéssel rendelkezik, míg a másik töltetlen. Hogyan lehet meghatározni, melyik hüvely rendelkezik töltéssel?

**10.** (*2 pont*) Hogyan lehet egy pozitív töltésű fémgömbbel negatívan feltölteni egy ugyanolyan gömböt, nem növelve és nem csökkentve az első gömb töltését?

*(A 11–15. feladatokban az elektromos töltéseket tekintsük nyugalomban lévőnek és pontszerűnek.)*

**11.** (*3 pont*) Két elektromos töltés közötti távolság megváltoztatásakor a közöttük ható erő 16-odára csökkent. Hogyan változott meg a közöttük lévő távolság?

**12.** (*3 pont*) Hogyan változik meg két elektromos töltés között a kölcsönhatási erő, ha mindegyikük modulusa háromszorosára nő?

**13.** (*4 pont*) Két pozitív töltésű golyó között ható erő 0,1 N vákuumban. A közöttük lévő távolság 6 cm. Az egyik golyó töltése $2 \cdot 10^{-5}$ C. Számítsátok ki a másik töltését!

**14.** (*5 pont*) Két negatív töltésű test 0,9 N erővel taszítja egymást. A testek közötti távolság 8 cm. Határozzátok meg az egyik test többletelektronjainak számát, ha a másik töltése –4μC!

**15.** (*6 pont*) A vezető anyagból készült $1{,}8 \cdot 10^{-8}$ C töltésű golyót egyidejűleg érintkezésbe hozták két ugyanekkora golyóval, amelyek közül az egyik töltése $-0{,}3 \cdot 10^{-8}$ C, míg a másik elektromosan semleges volt. Számítsátok ki mindegyik golyó töltését az érintkezés után! Milyen erővel hat egymásra az ezekből kiválasztott két golyó az érintkezést követően 5 cm távolságból?

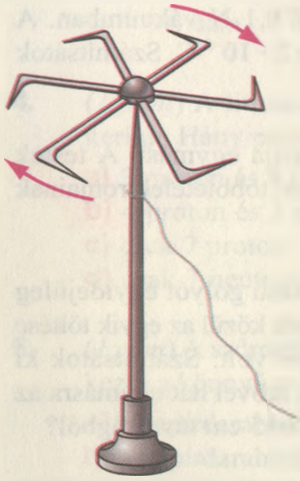
*Hasonlítsátok össze a válaszaitokat a könyv végén található feleletekkel! Jelöljétek meg a helyesen megoldott feladatokat, és adjátok össze az így kapott pontokat! A kapott pontszámokat osszátok el hárommal. Az így kapott eredmény megegyezik a tudásszintetekkel.*

## A FRANKLIN-KERÉKTŐL A LAPOS KÉPERNYŐIG

A tankönyv első fejezetéből megtudtátok, hogy az elektromos tér, amely bármely töltéssel rendelkező test körül létezik, a test töltésének értékétől és a tőle való távolságtól függ. A részletes kutatások azt is kimutatták, hogy az elektromos tér még a test formájától is függ. Ha például egy tűnek és az elektroszkóp fegyverzetének azonos a töltése, akkor a tű feje közelében az elektromos tér több milliószor is erősebb lehet, mint a fegyverzet közelében. Előfordulhat olyan nagy tér a tű körül, hogy hatására a hegye elektronokat kezd kibocsátani és azok nagy sebességgel hagyják el a tühegyet. A csúcstól nagy sebességgel távozó részecskék hozzák létre az *elektromos szelet*. Ez a szél képes mozgásba hozni a könnyű fémforgót, a *Franklin-kereket* (magyarországi könyvekben elektromos Segner-kerék) (1. ábra). Ezt az egyszerű játékot még a XVIII. században találta fel *Benjamin Franklin* (1706–1790) amerikai tudós. A játék alapján ajánlotta a villám pusztító hatásától védő villámhárító kidolgozását (erről majd a tankönyv 2. fejezetében esik szó).

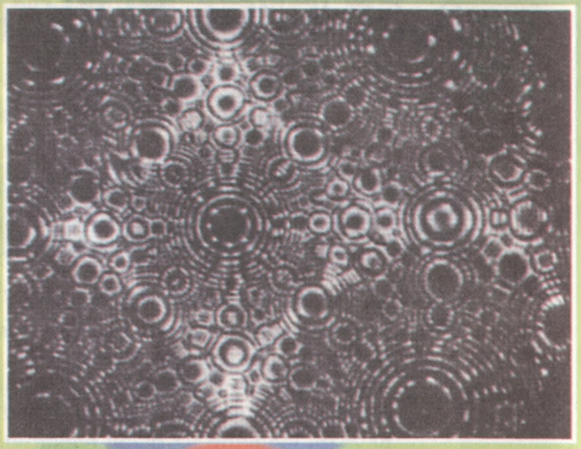
Érthető, hogy *téremisszió* (*hidegemisszió*)* alkalmazása nem korlátozódik a Franklin-kerékre és a villámhárítóra. A mai tudósok a jelenség alkalmazásának más területeit is megtalálták.

A tűhegyet elhagyó elektronok taszítják egymást, és ha nem használunk speciális eszközöket, széttartó kúp formájú nyalábban haladnak tovább. Így például az egy mikrométernél is kisebb területről kirepült elektronok egy bizonyos távolság megtételét követően már néhány cm-es nyalábot alkotnak. A nyaláb mindegyik elektronja egy bizonyos információt hordoz a tűhegy felületéről. Ha például a felület egy részén oxidréteg van, az megnehezíti az elektronok kirepülését. Ugyanakkor a tiszta fémfelület több elektront bocsát ki. Ha az elektronok útjába olyan ernyőt helyezünk, ami az elektron becsapódásakor felvillan, akkor a nem egyenletes felvillanásokból a kutatók az anyag mikrostruktúrájára következtetnek. Vagyis a mai körülmények között a Franklin-kerék tűhegye egyfajta nagyítóüveggé változik. A testfelszín mikrostruktúrája tanulmányozásának fent említett módszerét *téremissziós mikroszkópiának* nevezzük. Ez az eljárás nem



**1. ábra.** A Franklin-kerék. A feltöltött tűhegy elektromos szele képes forgásba hozni a kisebb forgókat

* *Hidegemisszió*nak nevezik elektronok kilépését szilárd test felületéről a felületközeli elektrosztatikus tér hatására, ezért a hidegemisszió másik szokásos elnevezése *téremisszió*.



**2. ábra.** Fémcsúcs felületéről készített fénykép téremissziós mikroszkópia segítségével

**3. ábra.** A FED kijelző külalakja. Működési elve a téremisszióra épül

csak a tűhegy felületének részeiről teszi lehetővé az információ megszerzését, de a különálló atomokról is (2. ábra).

Az téremisszió jelenségét a vákuum-berendezésekben is alkalmazzák, például a töltéssel rendelkező részecskék gyorsítójában (lásd a tankönyv 4. fejezetét).

A mérnökök a téremisszió alkalmazásával új típusú lapos képernyőt fejlesztettek ki. Angolul a téremisszió *field emission*, ennek megfelelően a lapos képernyők neve *field emission display*, magyarul rövidítve *FED kijelző* (3. ábra).

Gyakorlatilag minden háztartásban van elektron-sugárcsöves televízió. A FED kijelzőkben alkalmazott elvek bizonyos értelemben hasonlítanak a hagyományos képernyőkben alkalmazott képalkotásra. A televízióban a képcső elektronágyújából kilépő elektronnyaláb folyamatosan pásztázza a teljes nagy képernyőt. A csak egy elektronforrással rendelkező nagy képernyővel ellentétben, a FED kijelző nagyszámú „kis" képcső meglétét feltételezi, amelyek mindegyike egy sugárforrásból és egy vele szemben elhelyezkedő „saját" képcsőből áll. Az ilyen kis „képcsőben" az elektronnyalábot nem kell nagy távolságra kitéríteni, ezért a FED kijelzők mindössze néhány mm vastagságúak.

# 2. FEJEZET. ELEKTROMOS ÁRAM

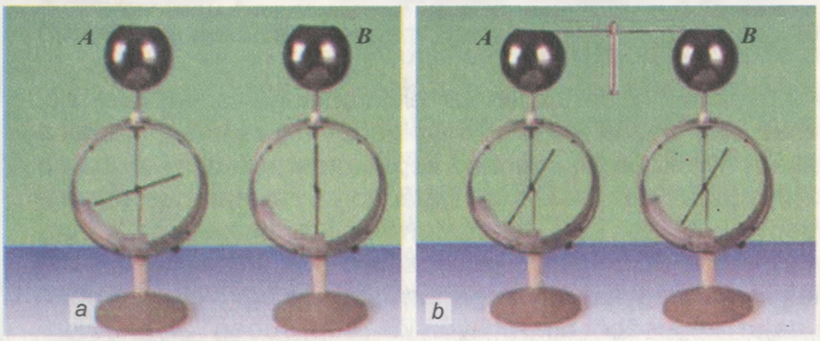
## 5. §. ELEKTROMOS ÁRAM. AZ ANYAG ELEKTROMOS VEZETŐKÉPESSÉGE

**?!** Valószínűleg sok iskolás hasonló választ adna arra a kérdésre, mit vinne magával egy lakatlan szigetre: mobiltelefont és számítógépet. De kis idő múlva természetesen rájönnének, hogy ott nincs áram. Nehéz elképzelni, hogy száz éve országunk legnagyobb része egy ilyen szigetre hasonlított: az elektromosságot csak néhány ember használta. Manapság bárki meg tud nevezni legalább tíz olyan elektromos háztartási eszközt, amelyek nélkül már nehezen tudjuk elképzelni az életünket: mosógép, lámpa, televízió stb. Ezeket a készülékeket elektromosnak (villamosnak) nevezzük, mert működésükhöz elektromos áramra van szükség. Ebből a paragrafusból megtudjátok, mi az elektromos áram.

### 1 Bevezetjük az elektromos áram meghatározását

Elvégzünk egy egyszerű kísérletet. Az asztalon elhelyezünk két elektrométert (*A* és *B*), és az egyiket, például az *A*-t feltöltjük. Az *A* elektrométer mutatója kitér (5. 1. *a* ábra). Műanyag nyélhez rögzített fémrúd segítségével összekapcsoljuk az elektrométerek fegyverzeteit. A mutatók kitérési szögének változásából megállapítjuk, hogy az *A* elektrométer töltése csökkent, a töltéssel nem rendelkező *B* elektrométer pedig töltést kapott (5. 1. *b* ábra). Ez azt jelenti, hogy az elektromos töltés egy része a töltéssel rendelkező részecskék* elmozdulása révén a rúdon át az egyik műszerről a másikra ment át.

**Az elektromos áram** a töltött részecskék irányított mozgása.




**5. 1. ábra.** Ha a feltöltött elektrométert egy vezető segítségével összekapcsoljuk egy töltetlennel, akkor a töltés egy része átmegy az utóbbi elektrométerre

* Azokat a részecskéket, amelyek töltéssel rendelkeznek, a továbbiakban *töltött részecskéknek* fogjuk nevezni.

## 2 Tisztázzuk az elektromos áram létrejöttének és létezésének feltételeit

Az elektromos áram meghatározása alapján kimondhatjuk az áram bármilyen közegben való létrejöttének két feltétele közül az elsőt. Nyilvánvaló, hogy *a közegben szabadon mozgó töltött részecskéknek (szabad töltéshordozóknak) kell lenniük.*

Azonban ez a feltétel nem elégséges ahhoz, hogy a közegben létrejöjjön és bizonyos ideig fennmaradjon az elektromos áram. Általában a szabad töltött részecskék irányított mozgásának létrehozásához és fenntartásához *elektromos tér szükséges*. Az elektromos tér hatására a közegben szabadon mozgó töltött részecskék mozgása rendezetté (irányítottá) válik, ami azt jelenti, hogy az adott közegben elektromos áram keletkezett.

## 3 Megtanuljuk megkülönböztetni a vezetőket, a szigetelőket és a félvezetőket

Ismerve az elektromos áram létrejöttének és létezésének feltételeit, nem nehéz rájönni, hogy az elektromos áram vezetésének képessége, vagy ahogy a fizikusok mondják – az *elektromos vezetőképesség* a különböző anyagok esetében nem egyforma. Ennek a képességnek a függvényében az anyagokat *vezetőkre, dielektrikumokra (szigetelőkre) és félvezetőkre* szokták osztani.

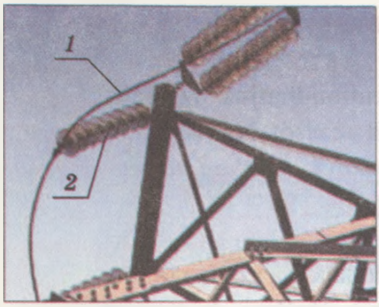
***Vezetőknek** nevezik azokat az anyagokat, amelyek jól vezetik az elektromos áramot.*

Vezetők a fémek, a sók (pl. a konyhasó), savak, bázisok vizes oldatai. A nedves föld, az ember vagy az állat teste jól vezeti az elektromos áramot, mert olyan anyagokat tartalmaznak, amelyek vezetők. A magas elektromos vezetőképesség annak köszönhető, hogy a vezetőkben nagyszámú szabad töltött részecske van. Így például a fém vezetőben az elektronok egy része, elhagyva az atomot, szabadon vándorol a teljes térfogatában. Az ilyen elektronok száma $10^{23}$ köbcentiméterenként.

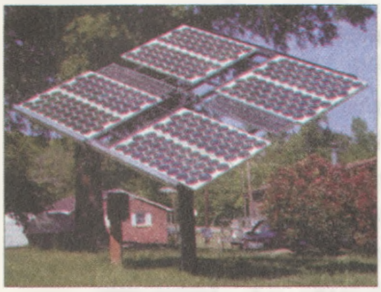
***Dielektrikumoknak** nevezik azokat az anyagokat, amelyek rosszul vezetik az elektromos áramot.*

A dielektrikumokhoz tartoznak egyes szilárd anyagok (ebonit, porcelán, gumi, üveg stb.), egyes cseppfolyós anyagok (desztillált víz, petróleum és mások) és egyes gázok (hidrogén, nitrogén stb.). A dielektrikumokban alig vannak szabad elektronok, tehát rajtuk gyakorlatilag nem folyik elektromos áram.

A vezetőket és a szigetelőket széleskörűen alkalmazzák az iparban, a háztartásban. Azokat a vezetékeket, amelyeken az elektromos áramot az erőműtől eljuttatják a fogyasztókig, fémből – jó vezetőből – készítik. Eközben az oszlopokon a vezetékeket szigetelőkön helyezik el. Ez biztosítja, hogy az elektromos töltés ne jusson a földbe (5. 2. ábra). Ugyanebből a célból a földbe fektetett kábeleket szigetelőréteggel látják el.




**5. 2. ábra.** Az elektromos vezetékhálózatot lehetetlen kiépíteni vezetők (*1*) és szigetelők (*2*) felhasználása nélkül



**5. 3. ábra.** A félvezető kristályokat napelemek készítésére használják

Sok olyan anyag is létezik, amelyet ***félvezetőnek*** neveznek. Általában ezek az anyagok rosszul vezetik az elektromos áramot, és ezért besorolhatók a szigetelők közé. Azonban, például a hőmérséklet vagy a megvilágítás növelésekor elegendő szabad töltéshordozó jelenik meg bennük, és a félvezetőkből vezető lesz. A félvezetőkhöz tartozik például a germánium, a szilícium, az arzén és sok más anyag. A félvezetőket széles körben alkalmazzák a rádióelektronikai berendezések, a napelemek gyártása stb. (5. 3. ábra) során.

## Összegzés

Az elektromos áram az elektromos töltéssel rendelkező részecskék irányított mozgása.

Az elektromos áram létrejöttéhez és létezéséhez szabad töltéshordozók megléte szükséges, valamint elektromos tér, amelynek hatása létrehozza és fenntartja az irányított mozgásukat.

Elektromos vezetőképességük függvényében minden anyagot feltételesen be lehet sorolni a vezetők (olyan anyagok, amelyek jól vezetik az elektromos áramot), a szigetelők (az elektromos áramot rosszul vezető anyagok) és a félvezetők közé.

## Ellenőrző kérdések

1. Mi az elektromos áram? 2. Fogalmazzátok meg az elektromos áram létrejöttének és létezésének feltételeit! 3. Milyen anyagok tartoznak a vezetőkhöz, szigetelőkhöz, félvezetőkhöz? Hozzatok fel példákat! 4. Miért vezetik jól az áramot a fémek? 5. Hozzatok fel példákat a félvezetők és a vezetők felhasználására!

## 5. gyakorlat

1. Miért kapcsolták össze a paragrafus első pontjában fémrúddal az elektroszkópok fegyverzeteit (lásd az 5. 1. ábrát)? Miért rögzítik a rudat műanyag nyélhez? Hogyan változna meg a kísérlet eredménye, ha a fémrúd helyett műanyag rudat használnánk?
2. Írjátok le néhány olyan tárgy nevét, amely: a) vezetőből; b) szigetelőből készült!
3. Mozognak-e a szabad töltéshordozók a vezetőben, ha nincs benne áram?
4. Miért nehéz, sőt néha lehetetlen feltölteni a magas páratartalmú szobában az elektroszkópot?
5. Milyen feltételeknek kell megfelelnie annak az anyagnak, amiből a konnektorok és kapcsolók dobozát készítik?

## 6. §. AZ ELEKTROMOS ÁRAM HATÁSAI

?! Már tudjátok, hogy elektromos áramnak az elektromos töltéssel rendelkező részecskék irányított mozgását nevezik. De hogyan lehet kideríteni, folyik-e áram a vezetőben? Hiszen az nem látható, hogyan mozognak például a fémrúdban a szabad elektronok. Azonban ismert, hogy az elektromos áram a hatásai révén nyilvánul meg. Ebben a paragrafusban az elektromos áram különböző hatásaival ismerkedhettek meg.

### 1 Megismerkedünk az elektromos áram hőhatásával

Az áram hőhatása a vezető melegedésében nyilvánul meg. Amikor vasaltok, forrasztópákával forrasztjátok az alkatrészt, főztök a villanytűzhelyen, elektromos hősugárzóval fűtitek a szobát, akkor olyan háztartási gépeket használtok, amelyeknek a működése az elektromos áram hőhatásán alapul.

Az elektromos áram hőhatását nem csak a háztartásokban, de az iparban és a mezőgazdaságban is széleskörűen használják, például a fémek hegesztése, vágása és olvasztása során, a melegházakban és a keltetőkben, a gabonaszárítókban, szenázs készítésekor stb.

A természetben szintén találkozunk az elektromos áram hőhatásával: a villám keltette energia erdőtüzet okozhat (6. 1. ábra).

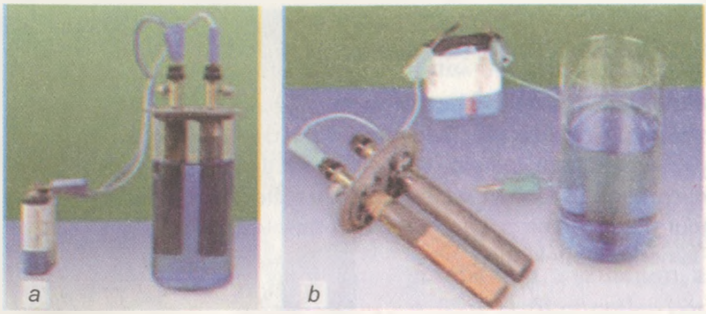
### 2 Megfigyeljük az elektromos áram kémiai hatását

Amikor a sók, savak és bázisok oldatain keresztül elektromos áram halad, az oldatba merített elektródákon kémiai reakció megy végbe. Tehát ebben az esetben az áram *kémiai hatásával* van dolgunk.

Ha a rézszulfát vizes oldatát tartalmazó edénybe két szénelektródát eresztünk és az oldaton át áramot engedünk (6. 2. *a* ábra), akkor egy idő után az egyik elektródra vékony, tiszta rézréteg rakódik rá (6. 2. *b* ábra).

Megjegyezzük, hogy *az áram vegyi hatása nem mindig azonnal jelentkezik*. Például áramot engedve át a fémeken, nem tapasztalunk semmilyen kémiai változást.

**6. 1. ábra.** Gyakran kísérik erdőtüzek a villámlást




**6. 2. ábra.** Az elektromos áram kémiai hatását bemutató kísérlet: ha egy bizonyos ideig áramot engedünk át a rézszulfát vizes oldatán (*a*), akkor az egyik elektródán vékony rézréteg jelenik meg (*b*)

A továbbiakban részletesebben megismerkedtek az anyagok kémiai felbontásával az elektromos áram hatására, valamint megtudjátok, hogyan alkalmazzák ezt a jelenséget a gyakorlatban.

## 3 Megismerkedünk az elektromos áram mágneses hatásával

Az a vezető, amelyben áram folyik, mágneses tulajdonságokra tesz szert, és vonzani kezdi a fémtárgyakat. Erről egy közönséges vasszeg segítségével is meggyőződhetünk. A szegre szigetelt vezetőt tekerünk, és áramot bocsátunk át a vezetőn. A szeg, a mágneshez hasonlóan vonzani kezdi a fémtárgyakat, vagyis mágneses tulajdonságokat mutat (6. 3. ábra).

A különböző villanymotorok, villamos műszerek működése (6. 4. ábra) csakis az *áram mágneses hatásainak* köszönhető. Az áram mágneses hatásaival részletesen a mágneses jelenségek tanulmányozása során ismerkedtek meg.

**6. 3. ábra.** Az áram áthaladásakor a vasszeg mágnessé válik és vonzza a vasreszelék szemcséit

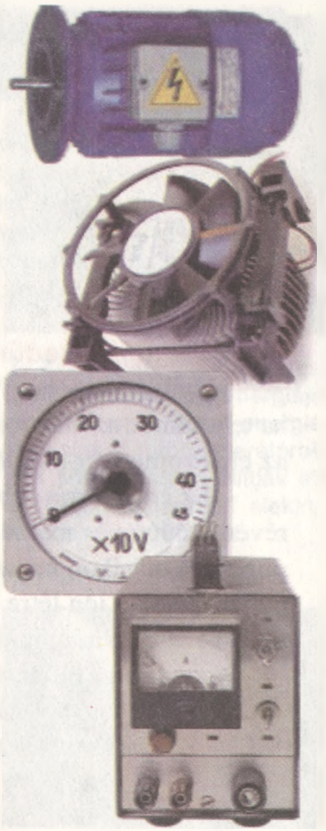
Az elektromos áram különböző hatásait vizsgálva megfigyelték, hogy legtöbbször néhány hatás egyidejűleg jelentkezik. Valóban, ha a fentebb említett kísérletben megmérjük a rézszulfátoldat hőmérsékletét (lásd a 6. 2. ábrát), észrevehető, hogy az oldat hőmérséklete fokozatosan nő, ha pedig mágnestűt helyezünk el az edény közelében, akkor az áram áthaladásakor a mutató kitér korábbi helyzetéből.

## 4 Megismerkedünk az elektromos áramnak a szervezetre gyakorolt hatásával

Az elektromos áram hő, kémiai, mágneses hatást gyakorol az élő szervezetekre, így az emberre is. Bizonyára sokan láttatok már belülről fizioterápiás szobát. Az ott található műszerek nagy része a gyógyítást szolgáló *elektromosság* alapján működik: az elektromos áram hőhatását bizonyos testrészek melegítésére használják, a kémiait és a mágnesest

pedig a különböző szervek működésének stimulálására, az anyagcsere javítására stb.

Emlékeznünk kell azonban arra is, hogy az elektromos áram távolról sem mindig gyakorol gyógyító hatást az ember szervezetére. Az áram égési sérülést, görcsöt, sőt akár halált is okozhat. Ezért, mielőtt használni kezdünk bármilyen elektromos műszert vagy készüléket, figyelmesen át kell tanulmányozni a mellékelt kezelési útmutatót, és pontosan be kell tartani azt.




**6. 4. ábra.** Az villanymotorok és a villamos mérőműszerek működése az áram mágneses hatásán alapszik

## Összegzés

A vezetőn való áthaladása során az elektromos áram hő (a vezeték melegedése), kémiai (annak a folyadéknak kémiai felbontása, amelyen az áram áthalad), mágneses (a mágnestű kitérése, a vas mágnesezése) hatást fejt ki.

Nagyon gyakran az elektromos áram különféle hatásai egyszerre jelentkeznek. Az elektromos áram hő, kémiai és mágneses hatásai befolyásolják az élő szervezeteket, így az embert is.

## Ellenőrző kérdések

1. Hogyan lehet megtudni, folyik-e áram a vezetőben? 2. Soroljátok fel az elektromos áram hatásait! 3. Hozzatok fel példákat az elektromos áram hőhatására! 4. Ismertessétek azt a kísérletet, amelyik azt bizonyítja, hogy az elektromos áram kémiai változást is kivált! 5. Vajon mindig jelentkezik az áram kémiai hatása? 6. Mit kell tenni a vasszeg mágnesezéséhez? 7. Soroljatok fel példákat annak bizonyítására, hogy az elektromos áram hat az ember szervezetére! Miben nyilvánul meg ez a hatás? Hol alkalmazzák?

## 6. gyakorlat

1. Soroljatok fel olyan elektromos háztartási gépeket, amelyek működése során az áram hőhatását alkalmazzák!
2. Soroljatok fel olyan elektromos háztartási gépeket, amelyek működése az áram mágnesen hatására épül!
3. Miért adnak a vízhez egy kis rézgálicot, amikor elektromos áram segítségével hidrogénre és oxigénre bontják a vizet?

4*. Miért kíséri dörgés a villámlást?

# 7. §. ÁRAMFORRÁSOK. GALVÁNELEMEK ÉS AKKUMULÁTOROK

?! Bizonyára sokak számára ismerős a helyzet: sürgősen telefonálni kellene, előveszitek a mobilkészüléket, és bosszankodva veszitek észre, hogy az akkumulátor lemerült és így a telefon a technika csodájából egy műanyag darabbá vált. Ugyanez megtörténhet a fényképezőgép, a lejátszó, a zseblámpa és az óra akkumulátorával is. A további teendőket egy elsős is tudja, az akkumulátor működésével pedig megismerkedhettek, ha elolvassátok ezt a paragrafust.

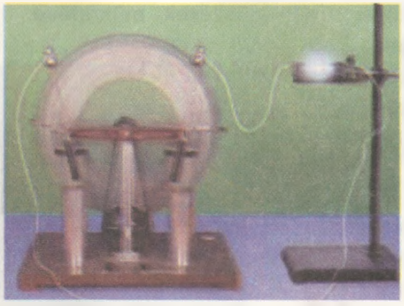
## 1 Megismerkedünk az áramforrásokkal

Nyilvánvaló, hogy bármely elektrotechnikai berendezés csak akkor működik, ha teljesülnek az elektromos áram létezésének feltételei: a szabad töltéshordozók és az elektromos tér megléte. Az elektromos térért az *áramforrás* felel.

Az áramforrásokban az elektromos tér a különnemű töltések szétválasztása révén jön létre és marad fenn. Ennek eredményeként az áramforrás egyik pólusán pozitív, a másikon negatív töltésű részecskék halmozódnak fel. A pólusok között elektromos tér jön létre. A tér hatására a pólusokat összekötő vezetőben a szabad töltéshordozók irányított mozgásba kezdenek, vagyis elektromos áram jön létre.

Azonban a különnemű töltéseket nem is olyan egyszerű szétválasztani, hiszen közöttük vonzóerő hat. Munkát kell végeznünk ahhoz, hogy szétválasszuk a töltéseket, és elektromos teret hozzunk létre. Ehhez mechanikai, kémiai, hő és más energiafajtára van szükség.

*Az **áramforrások** olyan berendezések, amelyekben a különféle energiafajták elektromos energiává alakulnak át.*



**7. 1. ábra.** Ha az influenciagép különneműen töltött konduktorait elektromos izzóhoz kapcsoljuk, az izzóban elektromos áram jön létre. Az izzó addig világít, amíg forog a gép korongja. Ebben az esetben a mechanikai energia elektromos energiává alakul

## 2 Megismerkedünk a különféle elektromos energiaforrásokkal

Az összes elektromos energiaforrást feltételesen *fizikaira* és *kémiaira* lehet osztani.

*A fizikai elektromos energiaforrásokhoz* azokat a berendezéseket szokták sorolni, amelyekben a töltések szétválasztása mechanikai, fény vagy hőenergia révén megy végbe. Az ilyen áramforrások példái: a megosztó (influencia-) gép (7. 1. ábra), a villamos erőművek turbógenerátorai (7. 2. ábra), fény- és hőelemek (7. 3. és 7. 4. ábra) stb.

A fizikai áramforrások sokfélesége ellenére a mindennapi életben a *kémiai áramforrásokkal* – galvánelemekkel és akkumulátorokkal – találkozunk a leggyakrabban. Kémiai elektromos

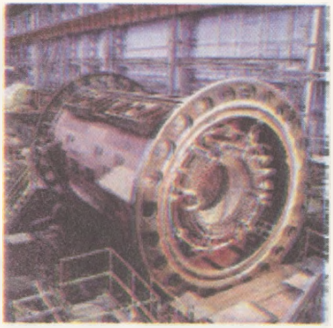
áramforrásoknak nevezzük azokat a berendezéseket, amelyekben a töltések szétválasztása a kémiai reakciók során kiváló energia révén megy végbe.

## 3 Megalkotjuk a galvánelemet

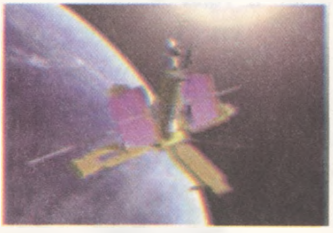
Veszünk egy réz és egy cinklemezt megtisztítjuk a felszínüket. A lemezek közé gyenge kénsav oldattal átitatott anyagdarabot helyezünk el. Az elkészített készülék a legegyszerűbb kémiai elektromos áramforrás – a *galvánelem* (7. 5. ábra). Ha a lemezeket *galvanométeren* keresztül (érzékeny elektromos mérőműszer, amelyet gyakran használnak gyenge elektromos áram indikátoraként) összekötjük, a műszer áramot jelez.

Az első galvánelemet *A. Volta* (7. 6. ábra) készítette, és honfitársa, *L. Galvani* (7. 7. ábra) tiszteletére nevezte el.

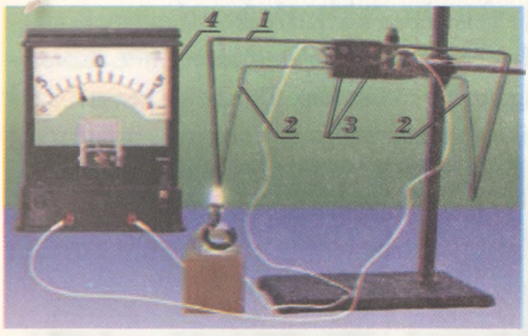
Az elektródák két *elektródból* és *elektrolitból* állnak. Az elektródák különböző fémekből készülnek. Gyakran használnak az egyik elektróda helyett szénelektródát vagy olyat, amelyik fémoxidokat tartalmaz. Elektrolitként szilárd vagy cseppfolyós anyag szolgál, amely a benne lévő nagyszámú szabad töltéshordozónak



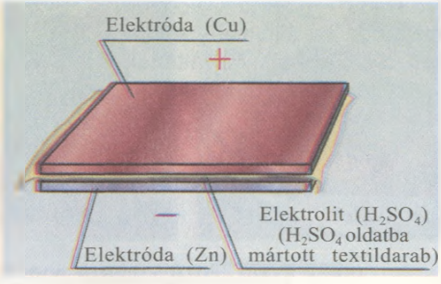
**7. 2. ábra**. A turbinák forgásának mechanikai energiáját az elektromos áram energiájává alakító turbógenerátoroknak köszönhetően állítják elő a világon felhasznált elektromos energia 80%-át



**7. 3. ábra**. A Szics-1M – a Föld távolsági szondázására szolgáló műhold – napelemei képesek elektromos energiát biztosítani a kísérleti berendezések teljes komplexumának. A napelemek a fény energiáját alakítják elektromos energiává

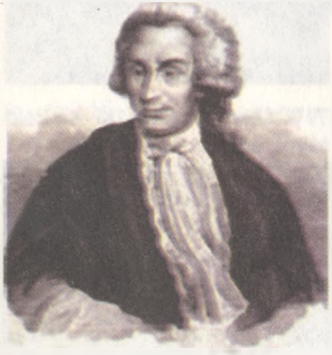



**7. 4. ábra**. A konstantán huzal (*1*) végeihez két vashuzalt forrasztottak (*2*). Szabad végeiket (*3*) galvanométerhez (*4*) olyan műszerhez, amely kimutatja az elektromos áramot kapcsolták. Ha melegítik a forrasztás helyét, a műszer áramot jelez: a hőenergia elektromos árammá alakult




**7. 5. ábra**. A legegyszerűbb galvánelem

**7. 6. ábra**. Alessandro Volta (1745–1827) olasz fizikus. Egy sor fontos kísérletet végzett az elektromosság területén, feltalálta a világ első galvánelemét és a galvántelepet, a Volta-oszlopot



**7.7 ábra.** Luigi Galvani (1737–1798) olasz orvos és fiziológus. Az általa végzett kísérletek sugallták A. Voltának a kémiai áramforrás elkészítésének ötletét

– az ionoknak – köszönhetően vezetik az áramot. A 7. 5. ábrán látható galvánelemben az elektródák réz- és cinklemez, az elektrolit pedig rézszulfát.

Az elektródák és az elektrolit között kémiai reakciók* mennek végbe, aminek eredményeként az egyik elektróda (az *anód*) pozitív, míg a másik (a *katód*) negatív töltést kap. Egy idő után a galvánelem munkaképessége megszűnik, mivel a reakcióban részt vevő hatóanyagok elhasználódnak.

A 7. 8. ábrán a mangán-cink elem elvi felépítése látható. Ez az egyik olyan elemtípus, amit széleskörűen használnak áramforrásként fényképezőgépekben, lejátszókban, faliórákban, zseblámpákban stb.

## 4 Tanulmányozzuk az akkumulátorokat

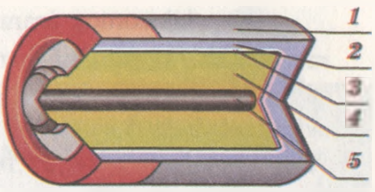
Egy idő után a galvánelemek kimerülnek, további felhasználásra alkalmatlanokká válnak. A kémiai elektromos áramforrások egy másik fajtáját – az *elektromos akkumulátorokat* – viszont többször fel lehet használni.

Az akkumulátorok, akárcsak a galvánelemek két elektrolitba mártott elektródából állnak. A gépkocsikban használt ólomakkumulátor egyik elektródája ólomból, a másik ólom-dioxidból van; elektrolitként kénsav szolgál. Ha a feltöltött akkumulátor pólusait például egy elektromos izzóhoz kötjük, a spirálján át áram folyik. Az akkumulátor belsejében kémiai reakciók zajlanak, amelyek következtében az ólom elektróda negatív, az ólom-dioxid pedig pozitív töltést kap. Eközben a kénsav vízzé alakul. Amikor koncentrációja egy bizonyos határértékig csökken, az akkumulátor lemerül, üzemképtelenné válik. Azonban fel lehet tölteni. Töltéskor a kémiai reakciók fordított irányban mennek végbe, aminek következtében a kénsav koncentrációja megújul.

Az ólom (savas) akkumulátorokon kívül széleskörűen használják a ferronikkel (lúgos), a kadmium-nikkel és más fajta akkumulátorokat.

* A galvánelemekben végbemenő fő reakciók – az oxidációs és redukciós reakciók. Ezeket a reakciókat részletesen a 9. osztályos kémia tananyagban fogjátok tanulni.

Meg kell jegyezni, hogy az akkumulátorokat és a galvánelemeket is általában összekötik, így *akkutelepet* vagy *galvántelepet* kapnak (7. 9. ábra). A mobiltelefonokban például lítiumion akkutelep van.




**7. 8. ábra**. A mangán-cink elem: *1* acél ház; *2* cinkből készült negatív elektróda; *3* az elektródákat elválasztó rostos anyag; *4* pozitív elektróda, amely mangán-dioxid és szén keverékéből áll; *5* sárgaréz rúd, amelyik a körbe juttatja az áramot. Az edény elektrolittal – kálium-hidroxid vizes oldatával – van feltöltve

Működési elvüket tekintve a korszerű kémiai áramforrások alig különböznek a kétszáz évvel ezelőttiektől. Jelenleg sokféle különböző galvánelem és akkumulátorfajta létezik, aktívan folyik az újak kidolgozása. Méretükben, tömegükben, kapacitásukban, élettartamukban, megbízhatóságukban, biztonságosságukban, árukban stb. különböznek egymástól.

A kémiai áramforrások típusának megválasztása alkalmazási területétől függ. Így gépkocsikban célszerű a viszonylag olcsó savas akkumulátorokat használni. Ebben az esetben a tömegük nem játszik döntő szerepet. Ezzel szemben a mobiltelefonok áramforrásának könnyűnek és biztonságosnak kell lennie, ezért célszerű lítiumion akkumulátorok használata, bár ezek viszonylag drágák.

## Összegzés

Azokat a berendezéseket, amelyek a különböző energiafajtákat elektromos energiává alakítják, elektromos áramforrásoknak nevezzük.

Az elektromos áramforrásokban a különböző nemű töltések szétválasztása folyik, aminek eredményeként az áramforrás egyik pólusán a pozitív, másikon negatív töltések gyűlnek fel, tehát elektromos tér keletkezik.

**7. 9. ábra**. Széleskörűen alkalmazott kémiai elektromos áramforrások: galvántelep (*a*); akkumulátorok (*b*, *c*)

Az elektromos áramforrásokban a különnemű töltések szétválasztása a mechanikai, kémiai, hő és más energiafajták révén megy végbe.

Az elektromos áram kémiai forrásaihoz tartoznak a galvánelemek és az akkumulátorok. A galvánelemek egyszerhasználatos kémiai elektromos áramforrások. Az akkumulátor többszörhasználatos elektromos áramforrás.

### Ellenőrző kérdések

1. Milyen berendezéseket neveznek elektromos áramforrásoknak? 2. Milyen folyamatok zajlanak az elektromos áramforrásokban? 3. Miért kell munkát végezni a különnemű töltések szétválasztásához? 4. Milyen energia révén mehet végbe a különnemű töltések szétválasztása az áramforrásokban? 5. Milyen elektromos áramforrásokat ismertek? Hozzatok fel példákat a technikai felhasználásukra! 6. Mi a galvánelem? 7. Írjátok le a korszerű galvánelem felépítését és működési elvét! 8. Írjátok le az akkumulátor felépítését és működési elvét!

### 7. gyakorlat

1. Mit kell tenni ahhoz, hogy két, fémvezetővel összekötött elektroszkópon azonos értékű, de ellentétes előjelű elektromos töltést tartsunk fenn?
2. Milyen energiaátalakulások zajlanak az akkumulátor feltöltésekor? Kisülésekor?
3. Hogyan változna a legegyszerűbb galvánelem működése (7. 5. ábra), ha elkészítésekor azonos fémből készült elektródákat használnának?

### Kísérleti feladat

Vegyetek egy citromot, egy darab rézhuzalt, egy vasszeget és készítsetek ezekből a tárgyakból galvánelemet! Rajzoljátok le a felépítését, írjátok le az alkotó elemeinek a nevét! Milyen más gyümölccsel vagy zöldséggel helyettesíthető a citrom? Az elkészített galvánelemet vigyétek el az iskolába és galvanométerhez kapcsolva győződjetek meg róla, hogy működik!

## 8. §. AZ ÁRAMKÖR ÉS ELEMEI

Ahhoz, hogy megismerjük bármely elektromos műszer felépítését, vagy hogy elhárítsuk az elektromos hálózat hibáját az otthonunkban, mindenekelőtt szükség van a szóban forgó áramkör kapcsolási rajzára. Azt, hogy mi is az elektromos áramkör, miből áll és kapcsolási rajzában hogyan ábrázolják az egyes elektrotechnikai készülékeket, megtudhatjátok ebből a paragrafusból.

### 1 Megismerkedünk az elektromos áramkörrel

Bármely elektromos berendezés: a mobiltelefon, az MP3-as lejátszó, a notebook, zseblámpa, digitális fényképezőgép, számológép stb. rendelkezik bizonyos kötelező elemekkel. Hogy kiemeljük ezeket a kötelezően előforduló elemeket és tisztázzuk rendeltetésüket, megalkotjuk a legegyszerűbb elektromos berendezés modelljét (8. 1. ábra).

Egy elektromos berendezés működéséhez mindenekelőtt *áramforrásra* van szükség. Modellünkben az áramforrás szerepét galvántelep tölti be (lásd az *1*-et a 8. 1. ábrán). A telep sarkait (pólusait) „ + ”, illetve „–” jelöli.

A másik kötelező elem az *elektromos fogyasztó*. Esetünkben ez az izzólámpa (*2*). Minden fogyasztónak két kivezetése van (az izzóban a lámpafejen üvegburával összekapcsolt menetes fémhengeren).

Az áramforrást és a fogyasztót *vezetékekkel* (huzalokkal)* (*3*) kötik össze. A rögzítésére speciális eszközöket (8. 2. ábra), forrasztást vagy hegesztést alkalmaznak.

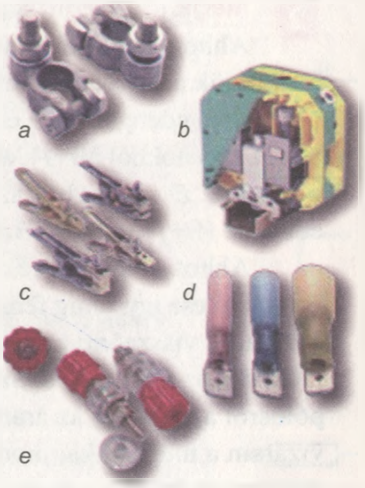
És végezetül az utolsó elem. Ahhoz, hogy kényelmes legyen a fogyasztó ki- és bekapcsolása, különféle *kapcsoló-berendezéseket* alkalmaznak: késes megszakító, billenő kapcsoló, nyomógombos vagy konnektoros megoldást. A vizsgált modellben (lásd 8. 1. ábra) ez a késes megszakító (*4*).

Arra is figyelni kell, hogy a valós berendezésben nem csak az összes említett elem megléte fontos, de összekapcsolásuk meghatározott sorrendje is.

*A meghatározott sorrendben vezetékek által összekapcsolt áramforrás, fogyasztók, kapcsolók alkotják az* ***elektromos áramkört.***

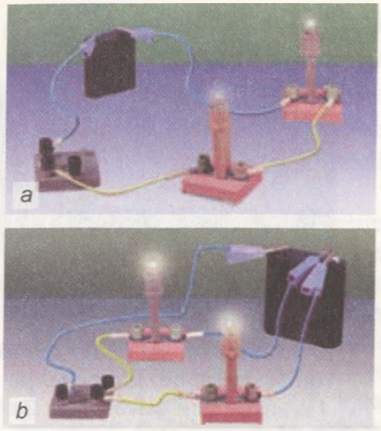
A 8. 3. ábrán két nagyon egyszerű elektromos áramkör látható, amelyek azonos elemeket tartalmaznak. Eközben bizonyos elemek (izzók) bekötési módja különbözik. A 8. 3. *a* ábrán az izzók *sorosan*, a 8. 3. *b* ábrán *párhuzamosan* vannak bekötve.

**8. 1. ábra.** A legegyszerűbb elektromos berendezés modellje: *1* áramforrás – galvántelep; *2* elektromos fogyasztó – izzólámpa; *3* összekötő vezetékek; *4* kapcsoló

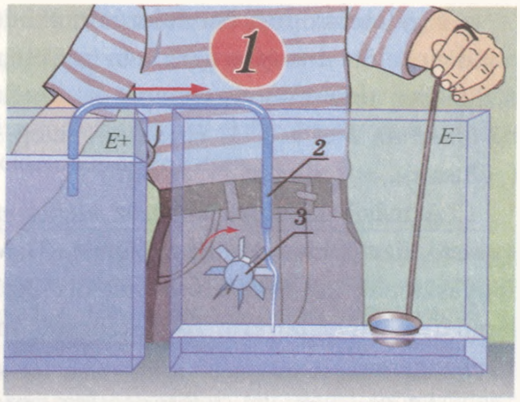



**8. 2. ábra.** Különböző szorítókapcsok a vezetékek összekapcsolására: akkumulátor sarú (*a*); nagyfeszültségű szorítóbilincs (*b*); krokodilcsipesz (*c*); késes (*d*); szorítócsavar (e)

* Az adott modellben a vezetékek hossza eltúlzott. A reális modellekben a tervezők a fölösleges elemek kiküszöbölésére törekszenek. Az elektromos izzóban például az egyik összekötő vezeték a fémváz. A második vezeték is hiányzik, mivel az áramforrás egyik pólusa közvetlenül érintkezik a lámpa kivezetésével.




**8. 3. ábra.** Az izzók kétféle bekötési módja az áramkörben: *a* – soros; *b* – párhuzamos




**8. 4. ábra.** A 8. 1. ábrán bemutatott áramkör mechanikai megfelelője. Az egyes elemek az ábrán feltüntetett számok alapján feleltethetők meg

## 2 Megismerkedünk az áramkör mechanikai analógjával

Ahhoz, hogy jobban megértsük, milyen célt szolgálnak az áramkör elemei, áttekintjük a mechanikai megfelelőjét. A mechanikai modell (8. 4. ábra) két vizet tartalmazó edényből (*E*+ és *E*–), hajlékony műanyagcsőből (*2*), forgókerékből (*3*) és… a társatokból áll (*1*), akinek az lesz a feladata, hogy megszakítás nélkül töltse a vizet az *E*– edényből az *E*+-ba. A cső rövidebb végét a magasabb vízállású edénybe (E+) merítve „vízáramot” hozunk létre, ami forgásba hozza a kereket.

Ahhoz, hogy a kerék ne álljon meg, állandóan fenn kell tartani a vízáramot. Ez addig lesz így, amíg fennáll a vízszint-különbség az edények között, vagyis amíg a társatok visszaönti a vizet. Ugyanígy, az elektromos áram addig áll fenn, amíg működik az áramforrás. Szünet nélkül „áthúzva” a megfelelő töltéseket az egyik pólusról a másikra, az áramforrás létrehozza és fenntartja az elektromos teret. A vízáram a mechanikai modellben, mint arra már minden bizonnyal rájöttetek, az elektromos áram analógja.

Bedugaszolhatjuk a csövet, és így megáll a vízfolyás. Tehát ebben az esetben a dugó a kapcsoló megfelelője az elektromos áramkörben.

Ha befagyasztanánk a vizet a csőben, a vízáram megszűnne. Tehát a szünet nélküli áramlás feltétele egy bizonyos „szubsztancia (anyag)” megléte, amelyik szabadon képes mozogni. Az áramkörben ez a szubsztancia nem más, mint a szabad töltéshordozók (például elektronok a fémekben vagy ionok a folyadékokban).

Ahhoz, hogy meggyőződjünk a víz folyásáról a csőben, nem kell mindenképpen látni a vízsugarat. Jelen esetben ennek nyilvánvaló bizonyítéka a kerék forgása. Ugyanígy az elektromos áram létezéséről az áram hatásai alapján vonunk le következtetést, hiszen magát az áramot nem látjuk.

## 3 Megismerkedünk az elektromos kapcsolási rajzokkal

Hogy bemutassák, pontosan milyen elektromos készülékek szükségesek egy bizonyos áramkörhöz, és hogyan kell őket összekapcsolni, *elektromos kapcsolási rajzokat* használnak.

**Kapcsolási rajznak** nevezik azt a rajzot, amelyen egyezményes jelekkel bemutatják, milyen elemekből áll össze az áramkör és ezek az elemek hogyan kapcsolódnak egymáshoz.

Néhány elem rajzjele a táblázatban látható. Különös figyelmet kell fordítani az áramforrás (galvánelem és akkumulátor vagy ezek telepei) jelölésére. Megállapodás alapján a hosszabb pálcika az áramforrás pozitív pólusát jelöli, míg a rövid a negatívat.

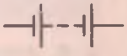
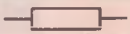
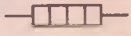
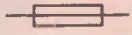
Az áram irányát az áramkörben nyíl jelzi.

*Feltételesen az áram irányául a pozitív részecskék mozgási irányát tekintik, tehát az áramforrás pozitív sarkától a negatív sarka felé mutató irányt*.*

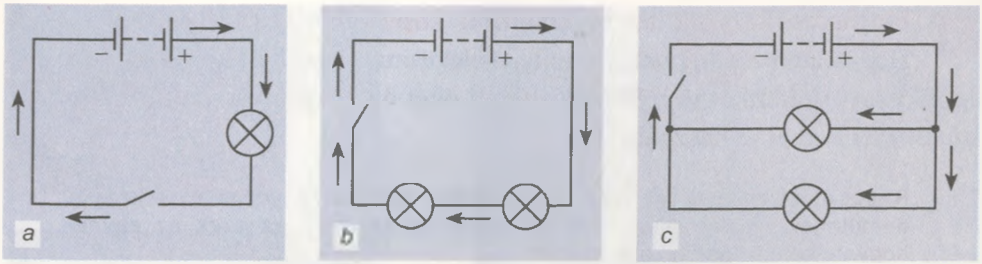
A 8. 5. ábrán a 8. 1., illetve 8. 2. ábrákon látható áramkörök kapcsolási rajzát, illetve az átfolyó áram irányát figyelhetitek meg.

Áttekintjük egy bonyolultabb áramkör kapcsolási rajzát (8. 6. ábra). Ez az elektromos áramkör három kapcsolót, két fogyasztót és áramforrást tartalmaz. Ha zárjuk a $K_1$ és $K_2$ kapcsolót, a $K_3$-t pedig nyitjuk, akkor az izzólámpát tartalmazó kör zárul az áramforrással, így az világítani fog. Ha zárjuk a $K_1$ és $K_3$ kapcsolót, a $K_2$-t pedig nyitjuk, a villanymelegítő lép működésbe, az izzó pedig nem fog világ-

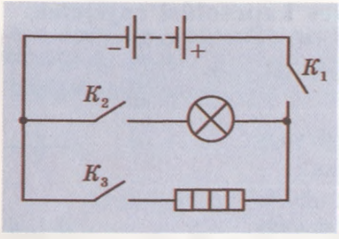
**Az áramkörben alkalmazott egyes kapcsolási rajzjelek**

| Áramköri elem | Kapcsolási rajzjel |
|---|---|
| Galvánelem vagy akkumulátor | |
| Galvánelem vagy akkumulátor telep |  |
| Vezetékcsatlakozás (kötési pont) | |
| Vezetékek metszése (csatlakozás nélkül) | |
| Szorítókapcsok valamely műszer bekötésére |  |
| Kapcsoló |  |
| Ellenállás (rezisztor) |  |
| Izzólámpa | |
| Villanycsengő | |
| Fűtőelem |  |
| Dugós csatlakozó | |
| Biztosíték |  |

* Meg kell jegyeznünk, hogy az áramkör zárásakor az áramforrás elektromos terének hatására az elektronok a negatív pólustól a pozitív pólus felé mozognak, vagyis az elektronok mozgásának iránya ellentétes a feltételesen elfogadott áramiránytól.




**8. 5. ábra.** Néhány áramkör kapcsolási rajza: *a* – az izzó kapcsolási rajza (lásd a 8.1. ábrát); *b* – két izzólámpa soros bekötésének kapcsolási rajza (lásd a 8. 3. *a* ábrát); *c* – két izzólámpa párhuzamos bekötésének kapcsolási rajza (lásd a 8. 3. *b* ábrát). A nyilak az áram irányát mutatják, ha a kapcsoló zárja a kört




**8. 6. ábra.** Az izzólámpa és a villanymelegítő kapcsolási rajza

gítani. Ha mindhárom kapcsolót zárjuk, egyidejűleg világít a lámpa és működik a villanymelegítő. Ha csupán a $K_1$ kapcsolót nyitjuk vagy zárjuk, mindkét fogyasztó lekapcsolódik az áramforrásról, tehát nem működnek.

### Összegzés

A legegyszerűbb áramkört a vezetékkel összekötött áramforrás, fogyasztó és kapcsoló alkotja.

Azokat a rajzokat, amelyeken jelek mutatják az áramkör elemeit, azok egymáshoz kapcsolódási módját, kapcsolási rajznak nevezzük.

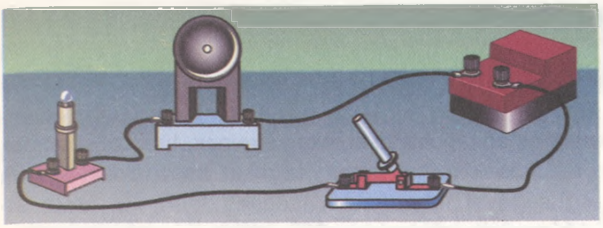
Az áram irányának a körben feltételesen a pozitív részecskék mozgási irányát tekintik, vagyis az áramforrás pozitív sarkától a negatív felé mutató irányt.

### Ellenőrző kérdések

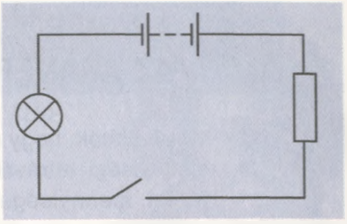
1. Nevezzétek meg az áramkör fő elemeit! 2. A mechanikai modell segítségével magyarázzátok meg, mire szolgálnak az elektromos áramkör egyes elemei! 3. Soroljatok fel elektromos fogyasztókat! 4. Mi a szerepe az áramkörben a kapcsolónak? 5. Mit nevezünk kapcsolási rajznak? 6. Hogyan ábrázolják a kapcsolási rajzokon a galvánelemet? A galvántelepet? A villanycsengőt? A kapcsolót? 7. Mit tekintenek az áram irányának az áramkörben?

### 8. gyakorlat

1. Rajzoljátok át az 1. ábrán látható áramkör kapcsolási rajzát, és tüntessétek fel rajta az áram irányát!
2. A 2. ábrán egy elektromos áramkör kapcsolási rajza látható. Rajzoljátok át a rajzot a füzetbe, jelöljétek meg az áramforrás pólusait, nyíllal jelöljétek az áram irányát! Minden egyes áramköri elem nevét írjátok a megfelelő helyre!



1. ábra



2. ábra

3. Rajzoljátok le annak az áramkörnek a kapcsolási rajzát, amely galvántelepet tartalmaz, valamint két villanycsengőt, amelyek egyszerre kapcsolhatók egy kapcsolóval! A feladat kétféleképpen is megoldható. Hol lehet alkalmazni ezt a kapcsolást?
4. Az áramkör akkumulátortelepből, két kapcsolóból, csengőből és izzóból áll. Rajzoljátok meg az áramkör kapcsolási rajzát úgy, hogy az egyik kapcsoló csak az izzólámpát, a másik csak a csengőt hozza működésbe!
5*. Az áramkör akkumulátortelepből, csengőből, kapcsolóból és izzólámpából áll. Készítsétek el egy olyan áramkör kapcsolási rajzát, amelyben az izzó állandóan világít, a csengő pedig csak a kapcsoló bekapcsolásakor működik!
6*. Az áramkör akkumulátortelepből, két csengőből, két kapcsolóból és egy izzólámpából áll. Rajzoljátok egy olyan kapcsolási rajzot, hogy az izzó csak az egyik csengő bekapcsolásakor kezdjen világítani!

## A FIZIKA ÉS TECHNIKA UKRAJNÁBAN

**Az Ukrán Tudományos Akadémia Elektrodinamikai Intézete** (Kijev)

Az Elektrodinamikai Intézet fő tudományos kutatási irányai a „nagyáramú energetikához" köthetők: a tudósok olyan áramköröket dolgoznak ki, amelyek egész ipari komplexumokat kötnek össze – gyárakat, bányákat stb.

Minden bizonnyal találkoztatok már azzal a jelenséggel, amikor hirtelen kialszik a villany a tömbházban, mivel minden szomszéd egyszerre bekapcsolta a televíziót, villanymelegítőt, világítást stb. A lakók számára ez csupán kellemetlenség, de az öntödében vagy a kórházban az áramszolgáltatás megszűnése tragédiát okozhat. A jól összeállított áramkörök megóvnak az ilyen esetektől.

Az itt dolgozó tudósok sikeres fejlesztésének példája a 10 kV-ra méretezett vezetékek gyártási technológiájának kidolgozása. Ezeket a vezetékeket általában a földfelszín alá fektetik le, ezért szélsőséges körülmények között kell működniük (a hőmérséklet, a nedvesség változása). Az intézet tudósai a harkivi Pivdenkabel üzemben valósították meg a tervet, ahol speciális szigetelésű kábeleket gyártanak.

Az alábbi képen az Elektrodinamikai Intézet tudósainak egy másik fejlesztése látható – az elektromos tricikli –, ami egy jó manőverező képességű, elektromos energiával mozgásba hozható jármű.

# 9. §. ÁRAMERŐSSÉG. AZ ÁRAMERŐSSÉG MÉRTÉKEGYSÉGE. AMPERMÉRŐ

?! Már tudjátok, hogy a testek és anyagok fizikai jelenségeinek, tulajdonságainak mennyiségi leírásához a tudósok fizikai mennyiségeket használnak. Milyen fizikai mennyiségek segítségével lehet mennyiségileg leírni az áram áthaladását a vezetőn? Az egyiket megismerhetitek ebből a paragrafusból.

## 1 Tisztázzuk, mit nevezünk áramerősségnek

Mint azt már tudjátok, a fémrúdban nagyszámú szabad töltéshordozó – elektron található. Nyilvánvaló, hogy amikor a rúdban nem folyik áram, mozgásuk rendezetlen (kaotikus). Ezért úgy tekinthetjük, hogy egy másodperc alatt a rúd keresztmetszetén (9. 1. ábra) ugyanannyi elektron mozdul el balról jobbra, mint jobbról balra.

**9. 1. ábra.** Képzeletben elvágva a rudat, megkapjuk a keresztmetszetét

Ha a rudat áramforráshoz kapcsoljuk, az elektronok rendezetten fognak mozogni, és jelentősen megnő azoknak az elektronoknak a száma, amelyek egy meghatározott idő alatt egy bizonyos irányban haladnak át a keresztmetszetén. Tehát az adott irányban a rúd keresztmetszetén egy bizonyos töltésmennyiség halad át.

Az **áramerősség** az elektromos áramot jellemző fizikai mennyiség, amely számbelileg egyenlő azzal a töltéssel, amely a vezető keresztmetszetén egységnyi idő alatt áthalad.

Az áramerősséget $I$ betűvel jelölik és az

$$I = \frac{q}{t}$$

képlettel számítják ki, ahol $q$ a vezető keresztmetszetén $t$ idő alatt áthaladó töltés.

Hogy jobban megértsük a bevezetett fizikai mennyiség lényegét, újra az áramkör mechanikai modelljéhez fordulunk (lásd a 8. 4. ábrát). Nyilvánvaló, hogy az áramerősség mechanikai analógja az a vízmennyiség, ami a cső keresztmetszetén 1 s alatt áthalad.

## 2 Megismerkedünk az áramerősség mértékegységével

*Az áramerősség mértékegysége az* **amper** (A); nevét a francia *A. Ampere* (9. 2. ábra) francia tudósról kapta. Az amper az SI egyik alapegysége (9. 3. ábra).

Az amperen kívül a gyakorlatban gyakran használják az áramerősség többszöröseit és törtrészeit. Így a kis áramerősségek mérésére használják a *milliampert* (mA) és a *mikroampert* (μA), a nagy áramerősségekre pedig a *kiloampert* (kA):

$$1\ \text{mA} = 10^{-3}\text{A};\ 1\ \mu\text{A} = 10^{-6}\text{A};\ 1\ \text{kA} = 10^{3}\ \text{A}.$$

Hogy elképzelhessük, mit jelent a kis és a nagy áramerősség, a következő adatokkal illusztráljuk. Az ember testén áthaladó áram akkor tekinthető biztonságosnak, ha értéke nem haladja meg az 1 mA-t, a 100 mA áramerősség már komoly sérülést okozhat.

Ahogy a 9. 4. ábrán látható, az áramerősség sok elektrotechnikai eszközben jelentősen meghaladja az emberi szervezet számára biztonságos értéket. Ezért, hogy ne kerüljünk életveszélybe az elektrotechnikai műszerekkel és eszközökkel végzett munka közben, szigorúan be kell tartani a balesetvédelmi szabályokat. Ezekről a tankönyv előzékén olvashattok részletesen. Most azokat a fő szabályokat tekintjük át, amire mindenkinek emlékeznie kell, aki kapcsolatba kerül az elektromossággal.

**9. 2. ábra.** André Marie Ampere (1775–1836) francia fizikus, matematikus és kémikus, az elektromágneses jelenségekről szóló tanítás egyik megalapítója. Ampere elsőként vezette be a fizikába az elektromos áram fogalmát

**TILOS**

- **megérinteni a csupasz vezetéket, különösen a földön, a nedves padlón stb. állva;**
- **meghibásodott elektrotechnikai eszközöket használni;**
- **össze- vagy szétszedni, javítani olyan elektrotechnikai eszközöket, amelyeket még nem kapcsoltunk ki a hálózatból**

## 3 Meghatározzuk az elektromos töltés egységét

Ismerve az áramerősség egységét, könnyen megkaphatjuk az elektromos töltés SI rendszerbeli egységét. Mivel $I = \frac{q}{t}$, ezért $q = It$. Tehát:

$$1\ \text{C} = 1\ \text{A} \cdot 1\ \text{s}.$$

1 C *az a töltésmennyiség, ami* 1 A *áramerősség esetén* 1 s *alatt áthalad a vezető keresztmetszetén.*

**Méter**
**Kilogramm**
**Másodperc**
**Amper**
**Kelvin**
**Mól**
**Kandela**

**9. 3. ábra.** A nemzetközi mértékegységrendszer (SI) fizikai mennyiségeinek alapegységei

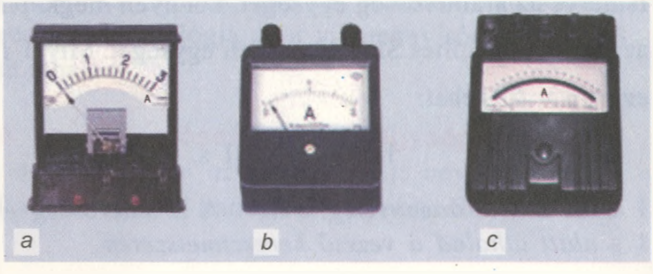
**9. 4. ábra.** Az áramerősség értéke néhány elektromos berendezésben

## 4 Megmérjük az áramerősséget

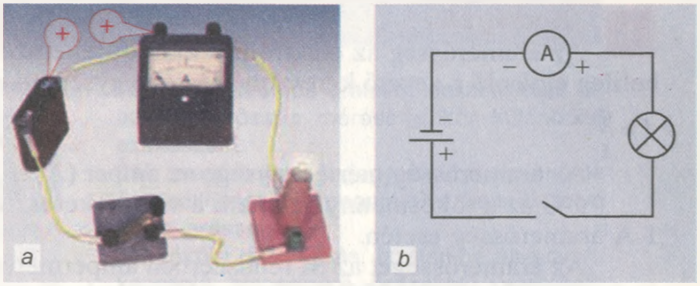
Az áramerősség mérésére *ampermérőt* használnak (9. 5. ábra).

A (A) az ampermérő jelölése az áramkörökben.

Mint minden más mérőműszer, az ampermérő sem befolyásolhatja a mért mennyiség értékét. Ezért olyan a felépítése, hogy az áramkörbe való bekötésekor az áramerősség a körben gyakorlatilag nem változik.




**9. 5. ábra.** Az ampermérők néhány típusa:
*a* demonstrációs;
*b* tanulókísérleti;
*c* laboratóriumi, tükrös skálával




**9. 6. ábra.** Az izzón áthaladó áram erősségének mérése ampermérővel: *a* az áramkör általános nézete; *b* kapcsolási rajz

*Az ampermérő használata során betartandó szabályok*

1. Az ampermérőt mindig azzal a fogyasztóval kell sorba kötni, amelyen az átfolyó áramerősséget akarjuk meghatározni (9. 6. ábra).

2. Az ampermérő „ + ” jelű szorítócsavarját azzal a vezetővel kell összekötni, amelyik az áramforrás pozitív sarkáról indul; a „ – ”-szal jelölt szorítócsavart pedig azzal a vezetékkel, amelyik az áramforrás negatív sarkáról indul.

3. Az ampermérőt nem szabad fogyasztó nélkül az áramkörbe kapcsolni.

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Hány elektron halad át az izzó spiráljának a keresztmetszetén 2 s alatt, ha az áramerősség 0,32 A?

Adva:
$t = 2$ s
$I = 0{,}32$ A
$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

$N - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

$q = N|e|$, ezért ahhoz, hogy meghatározzuk az elektronok $N$ számát, ismernünk kell a 2 s alatt átvitt $q$ töltést és az elektron $e$ töltését. A teljes töltést megkapjuk az áramerősség meghatározásából; az elektron töltése pedig $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. A feladatot SI egységekben kell megoldani*.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

Az áramerősség meghatározásának megfelelően $I = \frac{q}{t}$, tehát $q = It$ (1). Ismerve a teljes töltést, meghatározzuk az elektronok számát: $N = \frac{q}{|e|}$ (2). Behelyettesítve az (1) képletet a (2)-be, adódik: $N = \frac{It}{|e|}$.

Kiszámítjuk a keresett mennyiség értékét:

$$[N] = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{C}} = \frac{\text{C}}{\text{C}} = 1; \quad \{N\} = \frac{0{,}32 \cdot 2}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 4 \cdot 10^{18}; \quad N = 4 \cdot 10^{18}.$$

*Felelet*: 2 s alatt az izzó spiráljának keresztmetszetén $4 \cdot 10^{18}$ számú elektron halad át.

* Az ezt követő feladatok elemzésekor elhagyjuk ezt a kitételt, mivel az elektromos jelenségek tanulmányozásakor csak az SI rendszert fogjuk alkalmazni.

## Összegzés

Az áramerősség az elektromos áramot jellemző fizikai mennyiség, számbelileg egyenlő a vezető keresztmetszetén egységnyi idő alatt áthaladó töltéssel: $I = \frac{q}{t}$.

Az áramerősség mértékegysége az amper (A). Ez az SI egyik alapegysége. 1 C az a töltésmennyiség, ami a vezető keresztmetszetén 1 s alatt áthalad 1 A áramerősség esetén.

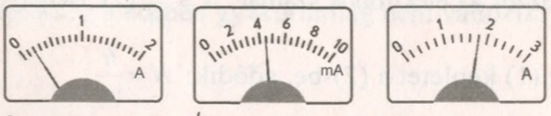
Az áramerősséget az SI rendszerben ampermérővel mérik. Az ampermérőt az áramkörbe sorosan kötik be azzal a fogyasztóval, amelyikben az áramerősséget mérik.

## Ellenőrző kérdések

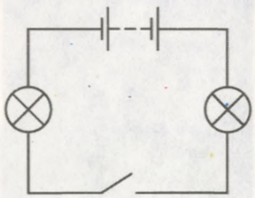
1. Adjátok meg az áramerősség meghatározását! 2. Milyen képlettel határozzák meg az áramerősséget? 3. Mi az áramerősség mértékegysége? Honnan kapta a nevét? 4. Mekkora áramerősség biztonságos az emberre? 5. Milyen fő balesetvédelmi szabályokat kell betartani az elektromos berendezésekkel végzett munka közben? 6. Adjátok meg a coulomb meghatározását! 7. Milyen szabályokat kell betartani az áramerősség mérése közben?

## 9. gyakorlat

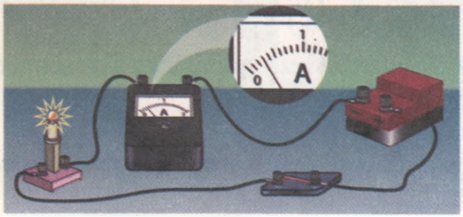
1. Az 1. ábrán különböző ampermérők skálái láthatók. Határozzátok meg skálabeosztásuk értékét, és a mutatott áramerősséget!
2. A 2. ábrán egy elektromos áramkör kapcsolási rajza látható. Rajzoljátok át a füzetetekbe, és tüntessétek fel, hová kell bekötni az ampermérőt ahhoz, hogy megmérjük az áramerősséget az izzókban! Jelöljétek meg az ampermérő pólusait!
3. Az áramerősség értéke a vezetékben 200 mA. Mennyi idő alatt halad át a vezető keresztmetszetén 24 C töltés?
4. Mekkora elektromos töltés halad át a vasaló fűtőelemén 15 perc alatt, ha a rajta átfolyó áramerősség 3 A?
5. A 3. ábrán az áramerősség mérése látható egy olyan körben, ami áramforrásból, kapcsolóból és izzóból áll. Rajzoljátok le a kapcsolási rajzát, jelöljétek meg az ampermérő pólusait! Határozzátok meg az izzó spirálján 10 perc alatt áthaladó töltést!
6. Mivel egyenlő az áramerősség abban a vezetőben, amelyben 10 s alatt a vezető keresztmetszetén $2 \cdot 10^{20}$ elektron halad át?




1. ábra *a* *b* *c*



2. ábra




3. ábra

## 2. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** Elektromos áramkör összeállítása és az áramerősség mérése a kör különböző szakaszain.

**Cél:** megtanulni a legegyszerűbb áramkörök összeállítását, és megmérni a bennük folyó áram erősségét.

**Eszközök:** áramforrás, izzólámpa állványon, kapcsoló, ampermérő, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

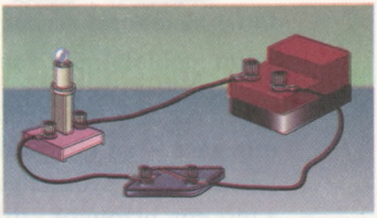
#### A kísérlet előkészítése

1. Mielőtt elkezdenétek a munkát, győződjetek meg arról, hogy jól tudjátok:
   1) az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait;
   2) azokat a szabályokat, amelyeket be kell tartani az áramerősség mérése közben.
2. Határozzátok meg a beosztásértéket és a méréshatárokat az ampermérő skáláján!

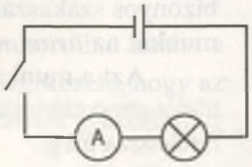
#### Kísérlet

**FIGYELEM!**
**Szigorúan tartsátok be a balesetvédelmi szabályokat!**

1. Állítsátok össze az 1. ábrán látható áramkört!
2. Mérjétek meg az áramerősséget úgy, hogy az ampermérőt:
   1) az áramforrás és az izzó közé;
   2) az áramforrás és a kapcsoló közé kötitek!
3. Rajzoljátok le az így kapott áramkörök kapcsolási rajzait, mellette tüntessétek fel a mérések eredményeit!
4. Állítsátok össze a 2. ábra alapján az áramkört, és újra mérjétek meg az áramerősséget! Jegyezzétek fel az eredményt!



1. ábra



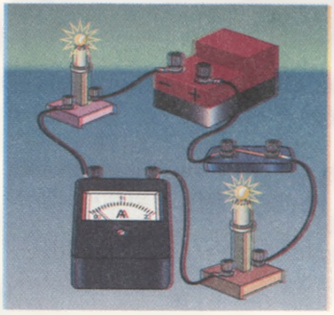

2. ábra

#### A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket, vonjatok le következtetést, amiben tüntessétek fel:

1) mit tanultatok meg a kísérlet elvégzése során;

2) függ-e az áramerősség értéke a vizsgált áramkörben az ampermérő bekötésének helyétől!



3. ábra

### Alkotói feladat

1. Rajzoljátok le a 3. ábrán látható áramkör kapcsolási rajzát, és tüntessétek fel rajta („+", „–") jelekkel az ampermérő szorítócsavarjainak polaritását! Jelöljétek a rajzon (*A*, *B* stb.) pontokkal az ampermérő lehetséges bekötési helyeit az izzókban folyó áram erősségének mérésére. Véleményetek szerint hogyan változik az ampermérő állása, ha az egyik izzó kiég?
2. Készítsétek el egy olyan áramkör kapcsolási rajzát, amely két izzóból, áramforrásból, ampermérőből és kapcsolóból áll, és melyben az egyik izzó kiégése gyakorlatilag nem befolyásolja az ampermérő mutatójának állását!

## 10. §. ELEKTROMOS FESZÜLTSÉG. A FESZÜLTSÉG MÉRTÉKEGYSÉGEI. VOLTMÉRŐ

?! Minden bizonnyal mindenki hallotta már a figyelmeztetést, „Oda ne menj – ott nagyfeszültség van!", vagy a felháborodást „Már megint csökkent a feszültség a hálózatban!", vagy a kérdést – „Milyen feszültségre méretezték ezt a műszert?". Ebből a paragrafusból megtudjátok, mi a feszültség és miért tüntetik fel minden eszközön az értékét.

### 1. Megadjuk az elektromos feszültség meghatározását

Az 5. §-ban bebizonyítottuk, hogy a szabad töltéshordozók irányított mozgása – az elektromos tér részéről – a részecskékre kifejtett erő révén lehetséges. A 8. osztályos fizika tananyagból pedig azt is tudjátok, hogy amikor a test egy bizonyos erő hatására mozog, és a mozgásirány megegyezik az erő hatásának irányával, akkor ez az erő munkát végez. Tehát, amikor az áramkör bizonyos szakaszán áram folyik, akkor az elektromos tér munkát végez. Ezt a munkát az *áram munkájának* szokták nevezni.

Azt a munkát, amit az elektromos tér képes elvégezni vagy elvégez a töltés elmozdításakor az áramkör egy adott szakaszán, az *elektromos feszültség* határozza meg.

A kör egy bizonyos szakaszán vett **elektromos feszültség** olyan fizikai mennyiség, amely számbelileg megegyezik az elektromos térnek az egységnyi pozitív töltés elmozdítására fordított munkájával az adott szakaszon.

A feszültség jele az $U$, és az

$$U = \frac{A}{q}$$

képlettel határozzák meg, ahol $A$ az a munka, amit elvégez (vagy elvégezhet) az elektromos tér a $q$ töltés elmozdításakor a kör adott szakaszán.

A *feszültség egysége az SI rendszerben* a **volt** (V) A. Volta olasz tudós tiszteletére (lásd a 7. 6. ábrát).

1 volt a feszültség az áramkör szakaszán, ha 1 C töltés átvitelekor az elektromos tér 1 J munkát végez.

$$1\,\text{V} = \frac{1\,\text{J}}{1\,\text{C}}.$$

A volton kívül a gyakorlatban gyakran használják a feszültségegység többszöröseit és törtrészeit: *mikrovolt* (μV), *millivolt* (mV) és *kilovolt* (kV):

$$1\ \mu\text{V} = 10^{-6}\ \text{V};\ 1\ \text{mV} = 10^{-3}\ \text{V};\ 1\ \text{kV} = 10^{3}\ \text{V}.$$

Például az elektromos feszültség a sejtmembránon, illetve a mikrochipekben néhány mikrovolt, a zivatarfelhők között pedig több száz kilovolt.

## 2 Analógiát keresünk

Az elektromos áram és a vízfolyás közötti analógiát elővéve (lásd 8. §.), megállapíthatjuk, hogy a feszültség az edényekben lévő víz szintkülönbségének felel meg.

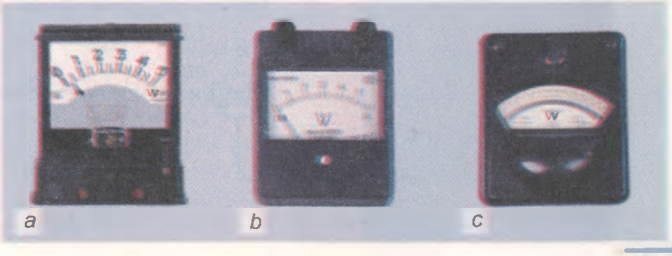
Ha a vízszint a két edényben azonos, a víz nem folyik át egyik edényből a másikba. Hasonlóan, ha az áramkör szakaszának két végpontja között nincs feszültség, akkor az adott szakaszon nem folyik áram.

Minél nagyobb a vízszintkülönbség a két edény között, annál nagyobb munkát végez a nehézségi erő 1 kg víz esésekor. Ennek megfelelően, minél nagyobb a feszültség az áramkör végpontjain, annál nagyobb munkát végez az elektromos tér részéről ható erő 1 C töltés elmozdítására.

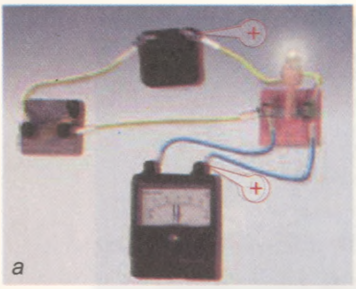
## 3 Megmérjük a feszültséget, megismerkedünk a voltmérővel

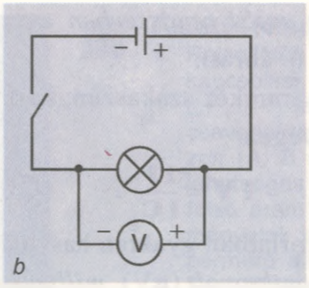
A feszültség mérésére *voltmérőt* használnak (10. 1. ábra). Külsőre a voltmérő nagyon hasonlít az ampermérőre.

Mint minden más mérőműszer, a voltmérő sem gyakorolhat hatást a mérendő mennyiség értékére. Ezért a voltmérőnek olyan a szerkezete, hogy az áramkörbe való bekötésekor a feszültség értéke ezen a szakaszon gyakorlatilag ne változzon meg.

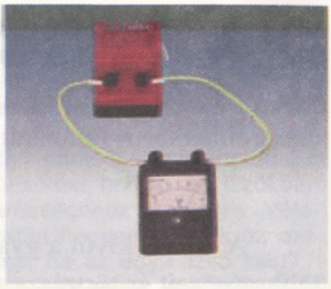



**10. 1. ábra.** Néhány voltmérő típus: *a* demonstrációs; *b* tanulói voltmérő; *c* laboratóriumi tükrös skálával




**10. 2. ábra.** A feszültség mérése az izzón voltmérő segítségével: *a* általános nézet; *b* az áramkör kapcsolási rajza



**10. 3. ábra.** A feszültség mérése az áramforrás pólusain voltmérő segítségével

*Szabályok, amelyeket be kell tartani a feszültség voltmérővel történő mérésekor*

1. A voltmérőt párhuzamosan kapcsolják az áramkör azon szakaszához, amelyen meg kell mérni a feszültséget (10. 2. ábra).
2. A voltmérő „+”-szal jelölt szorítócsavarját azzal a vezetékkel kell összekötni, amelyik az áramforrás pozitív sarkához van kapcsolva; a „–”-szal jelölt szorítócsavart pedig azzal a vezetékkel, amelyik az áramforrás negatív sarkához van kapcsolva.
3. Ahhoz, hogy megmérjük a feszültséget az áramforrás pólusain, a voltmérőt közvetlenül az áramforrás sarkaihoz kell kapcsolni (10. 3. ábra).

## 4 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** A gépkocsi akkumulátorán a feszültség 12 V. Milyen magasról kell leesnie a 36 kg tömegű testnek ahhoz, hogy a nehézségi erő ugyanakkora munkát végezzen, mint a gépkocsi egyik áramkörén 300 C töltést elmozdító elektromos tér?

Adva:
$U = 12$ V
$m = 36$ kg
$A = A_{áram}$
$q = 300$ C
$g = 10 \frac{N}{kg}$

$h$ – ?

*A fizikai probléma elemzése*

Mivel a munka meghatározásából $A = Fs$, és $F = F_n = mg$, valamint $s = h$, úgy a nehézségi erő által végzett munka a teher leesésekor az $A = mgh$ képlet alapján számítható ki. A feladat feltétele alapján ez a munka egyenlő az áram munkájával. Tehát a feszültség képletéből kifejezve az áram munkáját, kiszámítjuk, milyen magasból kell leesnie a tehernek.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

$$U = \frac{A_{áram}}{q}, \text{ tehát } A_{áram} = Uq.$$

Mivel $A_{áram} = A$ és $A = mgh$, így $Uq = mgh$; amiből $h = \frac{Uq}{mg}$.

Meghatározzuk a keresett mennyiség értékét:

$$[h] = \frac{V \cdot C}{kg \cdot \frac{N}{kg}} = \frac{\frac{J}{C} \cdot C}{N} = \frac{N \cdot m}{N} = m;$$

$$\{h\} = \frac{12 \cdot 300}{36 \cdot 10} = 10\,; \; h = 10 \text{ m}.$$

*Felelet*: A tehernek 10 m magasból kell leesnie.

## Összegzés

Azt a fizikai mennyiséget, amely számbelileg megegyezik az elektromos térnek az egységnyi pozitív töltés elmozdítására fordított munkájával az adott szakaszon, elektromos feszültségnek nevezik.

A feszültség jele az $U$ és az $U = \frac{A}{q}$ képlettel határozzák meg, ahol $A$ az a munka, amit elvégez (vagy elvégezhet) az elektromos tér a $q$ töltés elmozdításakor a kör adott szakaszán.

A feszültség egysége az SI rendszerben a volt (V). 1 V az áramkör szakaszának olyan feszültsége, amely mellett az elektromos tér 1 J munkát végez 1 C töltés elmozdítására az adott szakaszon $\left(1\,\text{V} = \frac{1\,\text{J}}{1\,\text{C}}\right)$.

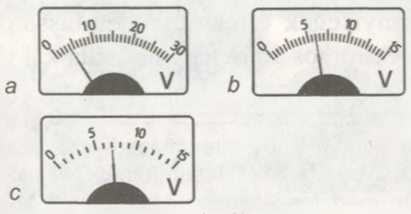
A feszültség mérésére szolgáló műszert voltmérőnek nevezik. A voltmérőt párhuzamosan kell az áramkör azon szakaszához kapcsolni, amelynek a feszültségét meg kell mérni.

## Ellenőrző kérdések

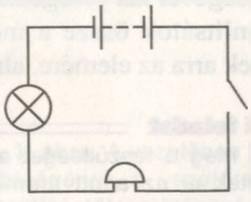
1. Bizonyítsátok be, hogy amikor a vezetékben áram folyik, az elektromos tér munkát végez! 2. Mit nevezünk feszültségnek az áramkör bizonyos szakaszán? 3. Milyen képlet alapján határozzuk meg az elektromos feszültséget? 4. Mi a feszültség mértékegysége? 5. Ismertessétek a feszültség mértékegységének meghatározását! 6. Milyen műszert használnak a feszültség mérésére? Milyen szabályokat kell betartani a feszültség mérése során?

## 10. gyakorlat

1. Az 1. ábrán különböző voltmérők skálái láthatók. Határozzátok meg mindegyik skála beosztásértékét és a műszerek állása szerinti feszültséget!
2. A 2. ábrán egy áramkör kapcsolási rajza látható. Másoljátok át a füzetetekbe, és tüntessétek fel, hova kell bekötni a voltmérőt, hogy megmérjük a feszültséget a lámpán! Tüntessétek fel a voltmérő pólusait!
3. A 3 C nagyságú töltésnek az áramkör szakaszán való elmozdítása során az elektromos tér 0,12 kJ munkát végzett. Határozzátok meg a szakasz feszültségét!
4. Mekkora munkát végez az elektromos tér 4 C töltés elmozdításakor, ha a feszültség ezen a szakaszon 12 V?
5. Az elektromos tér 60 C töltés elmozdításakor ugyanakkora munkát végzett, mint a nehézségi erő 200 g tömegű súly 360 m magasságból történő zuhanásakor. Mekkora a feszültség az áramkörben az áramforrás sarkain?




1. ábra



2. ábra

## 3. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** Az elektromos feszültség mérése voltmérő segítségével.

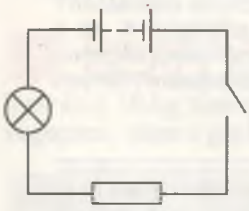
**Cél:** megismerkedni a feszültség mérésére szolgáló műszerrel, megtanulni a használatát és megmérni a feszültséget a kör adott szakaszán.

**Eszközök:** voltmérő, áramforrás, izzólámpa talpon, ellenállás, kapcsoló, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Előkészület a kísérlethez

1. Mielőtt nekifognátok a munkának, győződjetek meg arról, hogy ismeritek:
   1) az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait;
   2) azokat a szabályokat, amelyeket be kell tartani a feszültség mérése közben.
2. Határozzátok meg a beosztásértéket és a méréshatárokat a voltmérő skáláján!



| Áramköri elemek | Feszültség $U$, V |
|---|---|
| Izzó | |
| Ellenállás | |

#### Kísérlet

1. Állítsátok össze az áramkört az ábrán látható kapcsolási rajz szerint!
2. A voltmérő segítségével mérjétek meg a feszültséget: a) az izzón; b) az ellenálláson!
3. A mérések eredményeit foglaljátok a táblázatba!
4. Minden méréshez készítsétek el a megfelelő áramkör kapcsolási rajzát!

#### A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Vonjatok le következtetést, amiben:

a) megemlítitek a mért fizikai mennyiséget és azt a műszert, aminek a segítségével azt elvégeztétek;

b) hasonlítsátok össze a mért mennyiségek értékeit, és mutassatok rá a körnek arra az elemére, ahol az elektromos áram nagyobb munkát végzett!

#### Alkotói feladat

Mérjétek meg a feszültséget a körnek lámpából és ellenállásból álló szakaszán! Készítsétek el az adott áramkör kapcsolási rajzát! Hasonlítsátok össze az így kapott feszültségértéket a két eszközön mért feszültségek összegével! Magyarázzátok meg az eredményt!

# 11. §. AZ ELEKTROMOS ELLENÁLLÁS. OHM TÖRVÉNYE

Emlékezzetek vissza az áramkör 8.§.-ban bemutatott mechanikai modelljére (l. a 8. 4. ábrát). Most pedig képzeljétek el, hogy elég hosszú ideig nektek kell merni a vizet, azaz fenntartani a kerék forgását. Hogyan lehet ezt a legkisebb erőfeszítéssel elvégezni? Valószínűleg arra fogtok törekedni, hogy a víz a csőből lassabban folyjon. Ehhez vékonyabb csövet fogtok választani, és az edények vízszint-különbségét a lehető legkisebbre csökkentitek.

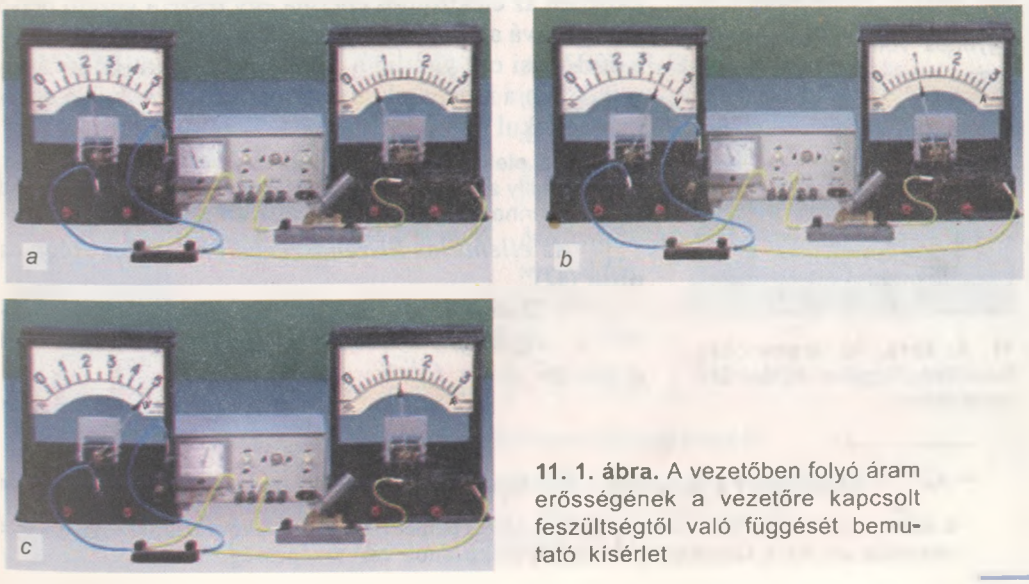
Emlékezzetek vissza arra, hogy a vízszint-különbség – a feszültség analógja, a csövön 1 s átfolyt víz mennyisége pedig az áramerősségé. Tehát feltételezhetjük, hogy az áramerősség a kör adott szakaszán csökken a feszültség csökkentésekor és függ a vezető vezetőképességétől. Ellenőrizzük ezeket a feltételezéseket!

## 1 Meggyőződünk arról, hogy az áramerősség a vezetőben a végpontjai közötti feszültségtől függ

Összeállítunk egy olyan áramkört, amelyben a fogyasztó egy fémhuzal lesz, az áramforrás pedig egy olyan berendezés, amelynek a kimenetén szabályozhatjuk a feszültséget. Az áramkör fémhuzalból álló szakaszához, az áramerősség, valamint a feszültség mérésére ampermérőt, illetve voltmérőt kapcsolunk (11. 1. *a* ábra).

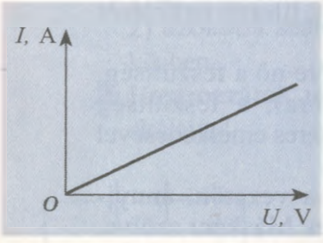
A kísérlet azt mutatja, hogyha a huzalon kétszeresére nő a feszültség, akkor az áramerősség is kétszeresére nő (11. 1. *b* ábra); a feszültség 2,5-szörösére való növelése a huzalon az áramerősség 2,5-szeres emelkedésével jár (11. 1. *c* ábra) stb.

Tehát, ahányszorosára nő (csökken) a feszültség a vezetőn, annyiszorosára nő (csökken) az áramerősség ebben a vezetőben. Másként szólva, *a vezetőben folyó áramerősség egyenesen arányos a végpontjai közötti feszültséggel*. Ezt az összefüggést kísérletileg elsőként *G. Ohm* (11. 2. ábra) német tudós állapította meg 1826-ban.

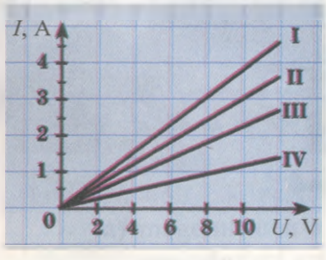



**11. 1. ábra.** A vezetőben folyó áram erősségének a vezetőre kapcsolt feszültségtől való függését bemutató kísérlet

**11. 2. ábra.** Georg Simon Ohm (1787–1854) német fizikus, 1826-ban kísérleti úton felfedezte a később róla elnevezett törvényt




**11. 3. ábra.** A vezetőben folyó áramerősség és a vezető a végpontjaira kapcsolt feszültség közötti összefüggést kifejező függvény grafikonja egy egyenes vonal




**11. 4. ábra.** Az áramerősség feszültségfüggése különböző vezetőkben

A matematika tananyagából tudjátok, hogy az ilyen megfeleltetést az $I = kU$ képlettel lehet kifejezni, ahol a $k$ arányossági tényező. Ábrázolni pedig a 11. 3. ábrán látható grafikonnal vagy táblázat segítségével lehet. A vezetőben folyó áramerősség és annak végpontjain mért feszültség közötti összefüggést még a *vezető volt-amper karakterisztikájának* (jelleggörbéjének) is nevezzük, ami grafikusan (l. 11. 3. ábra) és táblázat segítségével ábrázolható.

## 2 Megismerkedünk az elektromos ellenállással

Ha az 1. pontban leírt kísérletet más vezetőkkel is elvégezzük, észrevesszük, hogy az áramerősség a vezetőben minden esetben arányos a végpontjain mért feszültséggel ($I = kU$), az arányossági tényező viszont minden esetben különbözni fog. Ezt mutatja a grafikonok különböző hajlásszöge (11. 4. ábra).

Vagyis az *áramerősség a vezetőben* nem csak a végpontjai közötti feszültségtől függ, de *a vezető tulajdonságaitól* is.

A gyakorlatban az $I = kU$ összefüggést gyakrabban használják $I = \frac{1}{R}U$, vagy $I = \frac{U}{R}$ alakban, ahol $R$ a *vezető elektromos ellenállása**. Minél nagyobb a vezető ellenállása, annál kisebb benne az áramerősség azonos feszültségérték mellett. Épp ezért kapta az ellenállás nevet az $R$ mennyiség. Az ellenállással rendelkező vezeték akadályozza a töltések irányított mozgását, eközben az elektromos energia egy része a vezető belső energiájává alakul. Egy mechanikából vett hasonlattal – a súrlódási erő gátolja a testek mechanikai mozgását, miközben a mechanikus energia egy része belső energiává alakul át.

**Az elektromos ellenállás** olyan fizikai mennyiség, amely a vezető elektromos árammal szemben kifejtett ellenhatását jellemzi.

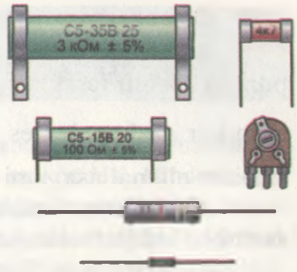
*Az ellenállás SI-rendszerbeli mértékegysége az* **ohm** (Ω).

1 Ω *annak a vezetőnek az ellenállása, amelyben a végpontjai közötti 1 V feszültség mellett 1 A erősségű áram folyik:*

$$1\ \Omega = 1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}.$$

* Az $\frac{1}{R}$ mennyiséget a fizikában *vezetőképességnek* nevezik. Egysége az SI-rendszerben a *siemens* (S), amit *Ernst Siemens* (1816–1892) német fizikus és elektrotechnikus tiszteletére nevezték el. Az 1 Ω ellenállású vezető elektromos vezetőképessége 1 S.

A legtöbb rádiótechnikai berendezés elképzelhetetlen *rezisztor* (ellenállás) nélkül. Ezek azok az alkatrészek, amelyek bizonyos ellenállást biztosítanak (11. 5. ábra). Az ellenállás értékét a rezisztor burkolatán tüntetik fel.




**11. 5. ábra.** Az elektrotechnikában használatos különböző ellenállás-típusok

## 3 Megfogalmazzuk Ohm törvényét az áramkör szakaszára

Mindaz, amit a vezető ellenállásáról, valamint az áramerősség feszültségfüggéséről tanultatok, érvényes egy tetszőleges számú vezetőből álló áramkör szakaszára is. Tehát **Ohm törvénye az áramkör szakaszára** így szól:

> Az áramerősség az áramkör szakaszán egyenesen arányos a szakasz végpontjai közötti feszültséggel.

Az Ohm törvény matematikai alakja:

$$I = \frac{U}{R},$$

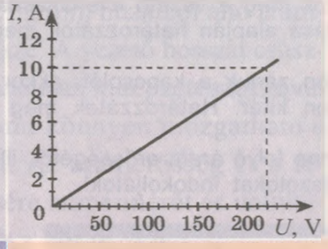
ahol $R$ *az áramkör szakaszának ellenállása, ami csupán a* szakaszt alkotó *vezetők tulajdonságaitól függ.*

Ohm törvénye az egyik legfontosabb fizikai törvény, az elektrotechnikában az áramkörök tervezésének túlnyomó többsége ezen a törvényen alapul.

## 4 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Az ábrán egy fémből készült vezető volt-amper karakterisztikája (jelleggörbéje) látható. Az ábra alapján állapítsátok meg a vezető ellenállását!

Adott:
$U = 220$ V
$I = 10$ A




$R - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

Az áramerősség feszültségtől való függése egyenes vonal, ezért az ellenállás meghatározásához a grafikon tetszőleges pontját és Ohm törvényét használjuk.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

A grafikon alapján megállapítjuk, hogy pl. 220 V feszültség mellett az áramerősség 10 A.

Ohm törvénye szerint $I = \frac{U}{R}$, tehát $R = \frac{U}{I}$.

Meghatározzuk a keresett mennyiség értékét:

$$[R] = \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega; \quad \{R\} = \frac{220}{10} = 22; \quad R = 22\ \Omega.$$

*Felelet:* a vezető ellenállása 22 Ω.

## Összegzés

Az áramerősség az áramkör szakaszán egyenesen arányos a szakasz végpontjai közötti feszültséggel. Ezt a törvényszerűséget Ohm törvényének nevezik az áramkör szakaszára és matematikailag az $I = \frac{U}{R}$ képlettel fejezik ki, ahol $R$ a szakasz ellenállása, ami csak az ahhoz tartozó vezetők tulajdonságaitól függ.

Az elektromos ellenállás fizikai mennyiség, amely a vezető elektromos árammal szemben kifejtett ellenhatását jellemzi.

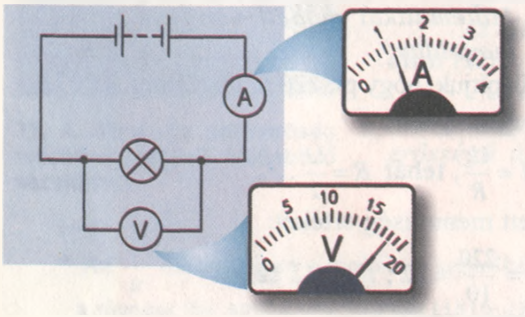
Az ellenállás SI-rendszerbeli mértékegysége az ohm (Ω). 1 Ω annak a vezetőnek az ellenállása, amelyben a végpontjai közötti 1 V feszültség mellett 1 A erősségű áram folyik.

## Ellenőrző kérdések

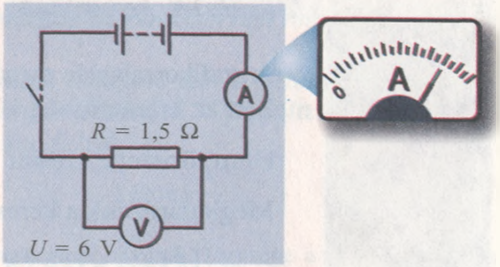
**1.** Hogyan lehet kísérletileg bemutatni, hogy az áramerősség a vezetőben arányos a végpontjai közötti feszültséggel? **2.** Hogyan lehet kísérletileg bemutatni, hogy az áramerősség a vezetőben függ a vezető tulajdonságaitól? **3.** Mit nevezünk a vezető ellenállásának? **4.** Kinek a tiszteletére nevezték el a vezető ellenállásának egységét? **5.** Mi az 1 Ω? **6.** Fogalmazzátok meg Ohm törvényét az áramkör szakaszára!

## 11. gyakorlat

1. A 11. 4. ábrán néhány vezető volt-amper jelleggörbéje látható. Határozzátok meg ezeknek a vezetőknek az ellenállását!
2. A vízforraló spiráljában folyó áram erőssége 1,5 A. Határozzátok meg a spirál végpontjain a feszültséget, ha az ellenállása 150 Ω!
3. Ha az áramkör egy szakaszán 12 V a feszültség, akkor az áramerősség ezen a szakaszon 0,6 A. Mennyi lesz az áramerősség, ha a szakasz végpontjaira 6 V feszültséget kapcsolunk? 20 V feszültséget? 1 V feszültséget?
4. A 120 V-ot mutató voltmérőben az áramerősség 15 mA. Határozzátok meg a voltmérő ellenállását!
5. A vezető ellenállása 2 Ω. Ábrázoljátok grafikusan ennek a vezetőnek a volt-amper karakterisztikáját!
6. A vezetőn, amelynek végpontjaihoz 12 V feszültséget kapcsoltak, 5 perc alatt 60 C töltés haladt át. Határozzátok meg a vezető ellenállását!
7. Az 1. ábrán látható műszerek állása alapján határozzátok meg az izzó ellenállását!
8. Ha a 2. ábrán látható áramkörben zárjuk a kapcsolót, akkor az amperméró mutatója az ábrán látható módon kitér. Határozzátok meg az amperméró skálájának beosztásértékét!
9. Függ-e a vezető ellenállása a benne folyó áram erősségétől, illetve a végpontjaira kapcsolt feszültségtől? Válaszotokat indokoljátok!




1. ábra




2. ábra

## 12. §. AZ ANYAGOK FAJLAGOS ELLENÁLLÁSA. A VEZETŐ ELLENÁLLÁSÁNAK KISZÁMÍTÁSA. REOSZTÁT

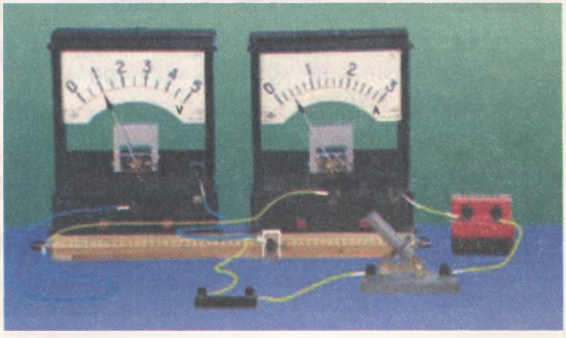
Már annyira hozzászoktunk a különböző technikai berendezések használatához, hogy gyakran el sem gondolkozunk azon, hogyan is működnek. Mindenki felhangosította már a rádiót vagy a televíziót, vagy megfigyelte azt, ahogy lassan kialszik a fény a moziban a vetítés előtt. De feltettétek-e magatokban a kérdést, hogy miért van ez így? Megpróbáljuk megválaszolni. Ezenkívül azt is megtudjátok, miért készítik a távvezetékeket vagy a lakások villamos vezetékét alumíniumból és rézből, nem pedig a jóval olcsóbb acélból.

### 1 Tisztázzuk, mitől függ a vezető ellenállása

Amikor a fém vezetőben áram folyik, a szabad elektronok irányított mozgásuk közben beleütköznek a fém kristályrácsának ionjaiba. Az ütközések eredményeként a töltött részecskék irányított mozgásának átlagsebessége csökken: a vezető ellenállást fejt ki az árammal szemben.

Ismeretes, hogy *a vezető ellenállása függ a vezető hosszától, keresztmetszetétől, valamint a vezető anyagától.* Erről kísérletek elvégzésével győződhetünk meg, minden esetben csak a paraméterek egyikét megváltoztatva. A vezető ellenállását Ohm törvényével határozzuk meg. Vagyis ampermérővel meghatározva a vezetőben folyó $I$ áramerősséget, voltmérővel pedig az $U$ feszültséget, kiszámítjuk a vezető ellenállását: $R = \frac{U}{I}$.

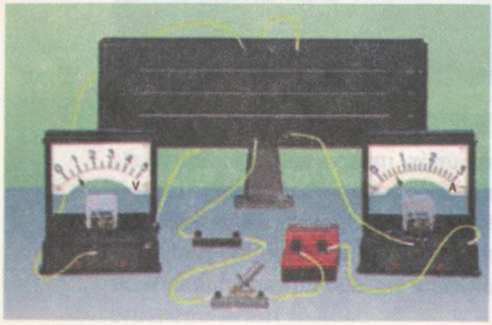
Előbb azt tisztázzuk, hogyan függ a vezető ellenállása a hosszától. Ehhez áramforrásból, ellenállásból és vékony, vonalzóhoz rögzített nikróm huzalból álló áramkört állítunk össze. A vezető hosszát csúszkával, egy speciálisan kiképzett szorítóval változtatjuk, ami könnyen mozgatható a vezető mentén. Az áramerősség és a feszültség mérésére ampermérőt és voltmérőt kapcsolunk a körbe (12. 1. ábra).



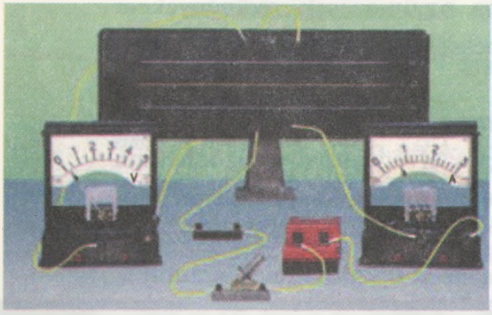
**12. 1. ábra.** A vezető ellenállása és hossza közötti egyenes arányosságot igazoló kísérlet

Elvégezve a megfelelő méréseket meggyőződünk arról, hogy a vezető hosszának csökkentésekor az ellenállása csökken, és fordítva, ha a vezető hossza nő, akkor az ellenállása is nő. Méghozzá ahányszor nő (csökken) a vezető hossza, annyiszor nő (csökken) az ellenállása. Számos kísérlet bizonyítja, hogy *a vezető ellenállása egyenesen arányos a hosszával.*

Tisztázzuk, hogyan függ a vezető ellenállása a keresztmetszetétől. Veszünk néhány panelhez rögzített azonos hosszúságú, de különböző keresztmetszetű nikróm vezetőt (12. 2. ábra). A kísérlet azt mutatja, hogy ahányszor nagyobb a vezeték



**12. 2. ábra.** A vezető ellenállása és keresztmetszetének területe közötti fordított arányosságot igazoló kísérlet



**12. 3. ábra.** A vezető ellenállása és a vezető anyaga közötti összefüggést igazoló kísérlet

keresztmetszete, annyiszor kisebb a vezető ellenállása. Mindez fordítva is igaz: ha felére csökkentjük a vezeték keresztmetszetét, annak ellenállása duplájára nő. Tehát *a vezető ellenállása fordítottan arányos keresztmetszetének területével.*

Ha a fent leírt kísérleteket azonos hosszúságú és keresztmetszetű, de különböző anyagokból készült vezetőkkel (például réz, alumínium, nikróm) végezzük el (12. 3. ábra), meggyőződünk arról, hogy *a vezető ellenállása függ attól az anyagtól, amiből készült.*

Összegezve a kísérletek eredményét, a következő képlethez jutunk:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

ahol $R$ a vezető ellenállása, $l$ a hossza, $S$ a keresztmetszetének a területe, $\rho$ arányossági tényező, a vezető anyagi minőségére jellemző mennyiség. Ezt a tényezőt *az anyag fajlagos ellenállásának* nevezik.

## 2 Tisztázzuk, mi az anyag fajlagos ellenállása

Hogy megadjuk az anyag fajlagos ellenállásának a meghatározását, térjünk vissza az ellenállás kiszámításának képletéhez: $R = \rho \frac{l}{S}$. Ebből következik, hogy $\rho = \frac{RS}{l}$. Vagyis, ha $l = 1$ m, $S = 1$ m$^2$, akkor $\{\rho\} = \{R\}$.

**Az anyag fajlagos ellenállása** az adott anyag elektromos tulajdonságait jellemző fizikai mennyiség, amely számbelileg megegyezik a belőle készített 1 m hosszú és 1 m$^2$ keresztmetszetű vezető ellenállásával.

*A fajlagos ellenállás egysége az SI-rendszerben az* **ohm-méter** ($\Omega \cdot$ m).

A gyakorlatban olyan vezetőkkel van dolgunk, amelyek keresztmetszete meglehetősen kicsi. Ezért az anyag fajlagos ellenállásának egységeként gyakran használják az $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$. Mivel 1 mm$^2$ = 1 $\cdot$ 10$^{-6}$ m$^2$, ezért 1 $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ = 1 $\times$ $\times$ 10$^{-6}$ $\Omega \cdot$ m.

## 3 Összehasonlítjuk néhány anyag fajlagos ellenállását

Az azonos fizikai méretekkel rendelkező, de különböző anyagokból készült vezetők ellenállásai jelentősen különböznek egymástól. Ez pedig azt jelenti, hogy az anyagok fajlagos ellenállása is különbözik. A kísérletek azt mutatják, hogy *a fajlagos ellenállás értékét az anyag szerkezete határozza meg és jelentősen függ a hőmérséklettől.*

*Néhány anyag fajlagos ellenállása (20 °C-os hőmérsékleten)*

| Anyag | $\rho$, $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ | Anyag | $\rho$, $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ |
|---|---|---|---|
| Ezüst | 0,016 | Nikróm (ötvözet) | 1,1 |
| Réz | 0,017 | Fehrál (ötvözet) | 1,3 |
| Arany | 0,024 | Grafit | 13 |
| Alumínium | 0,028 | Tengervíz | $3 \cdot 10^5$ |
| Volfrám | 0,055 | Desztillált víz | $10^9$–$10^{10}$ |
| Sárgaréz | 0,07–0,08 | Fa (száraz) | $10^{15}$–$10^{16}$ |
| Vas | 0,10 | Habszivacs | $10^{17}$ |
| Platina | 0,10 | Gumi | $10^{17}$–$10^{18}$ |
| Ólom | 0,21 | Üveg | $10^{15}$–$10^{19}$ |
| Nikkelin (ötvözet) | 0,42 | Porcelán | $10^{19}$ |
| Manganin (ötvözet) | 0,43 | Ebonit | $10^{18}$–$10^{20}$ |
| Konstantán (ötvözet) | 0,50 | Csillám | $10^{17}$–$10^{21}$ |
| Higany | 0,96 | Levegő | $10^{21}$–$10^{24}$ |

Látjuk, hogy a fémek közül a legkisebb fajlagos ellenállással az ezüst, a réz, az arany és az alumínium rendelkezik. Tehát a lakó-, közösségi- és ipari épületek villamos vezetékeinek, vagy az elektromos távvezetékek kiépítéséhez célszerű réz-, vagy alumíniumvezetékeket használni.

A gumi, porcelán, ebonit ellenállása igen nagy. Ezek az anyagok gyakorlatilag nem vezetik az elektromos áramot, ezért az elektrotechnikában szigetelőként használják őket.

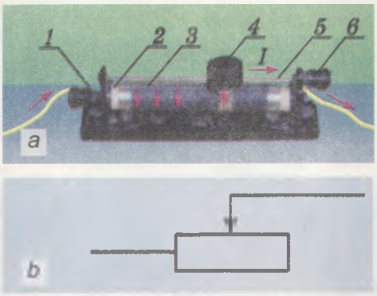
## 4 Megismerkedünk a reosztátokkal

A *reosztát** működése azon alapul, hogy a vezető ellenállása egyenesen arányos a hosszával.

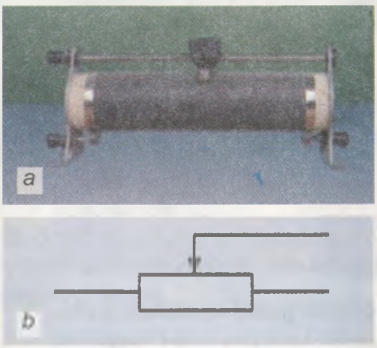
A **reosztát** az áramkör szakaszán átfolyó áram erősségének szabályozására szolgáló, változtatható ellenállású készülék.

Egy készülék áramkörébe iktatott reosztát lehetővé teszi az áramerősség változtatását, tehát segítségével szabályozni lehet a rádiókészülék hangerejét, az izzólámpa fényét stb.

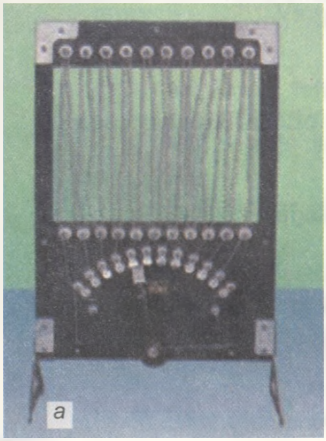
* A görög *rheos* – áramlat, folyam; *statos* – álló szavak összevonásából.




**12. 4. ábra.** Kétérintkezős tolóellenállás: *a* külső megjelenése: *a 1, 6* szorítócsavarok, *2* kerámiahenger, *3* fémdrót (tekercs), *4* csúszka, *5* fémrúd; *b* rajzjele




**12. 5. ábra.** Háromérintkezős tolóellenállás:
*a* külső megjelenése; *b* rajzjele



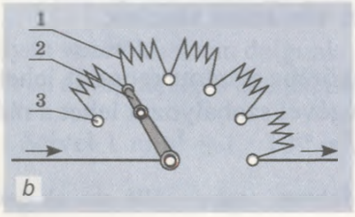

A legegyszerűbb reosztáttal már találkoztatok, amikor a vezető ellenállása és hossza közötti összefüggést tanulmányoztátok (l. 12. 1. ábra). A gyakorlatban használt reosztátok sokkal egyszerűbbek, könnyebben kezelhetők. Áttekintjük például a *kétérintkezős tolóellenállást* (12. 4. ábra). A fémdrótot (*3*) kerámiahengerre (*2*) csévélik, lecsökkentve ezáltal a reosztát méretét. A tekercs fölé fémrudat (*5*) rögzítenek, amin a tekerccsel szorosan érintkező csúszka (*4*) mozog.

A reosztát két szorítócsavarral (érintkezővel) van ellátva, amelyek közül az egyik (*6*) a rúdhoz, a másik (*1*) pedig a tekercshez van kapcsolva. Amikor a reosztátot bekötik a körbe, az elektromos áram az egyik érintkezőtől a másik felé folyik a tekercs menetein át a csúszkáig, majd tovább a rúdon.

A csúszkát a tekercs mentén elmozdítva, folyamatosan növelik vagy csökkentik annak a vezetékszakasznak a hosszát, amelyen az áram folyik. Ennek eredményeként a reosztát ellenállása is folyamatosan nő avagy csökken. Ezzel együtt, Ohm törvényének értelmében, folyamatosan változik az áramerősség is.

A tolóellenállásnak lehet három érintkezője is. Az ilyen reosztátot *háromérintkezős tolóellenállásnak* nevezzük. Ez a készülék nem csak az áramerősség, de a feszültség szabályozására is alkalmas (12. 5. ábra). Amikor *feszültségosztóként* üzemel, a reosztát mindhárom érintkezőjét bekötik az áramkörbe. A feszültségosztó működési elvével a következő paragrafusban ismerkedhettek meg.

A gyakorlatban a tolóellenállásokon kívül másféle reosztátokat is használnak, például a *kapcsolókaros ellenállásokat* (12. 6. ábra). A tolóellenállásokkal szemben a kapcsolókaros reosztátok ellen-




**12. 6. ábra.** Kapcsolókaros reosztát: *a* külső megjelenése;
*b* vázlata: *1* fémdrót; *2* kar; *3* érintkező; az áram irányát nyilak jelzik

állása nem folyamatosan, hanem ugrásszerűen változik (gondolkozzatok el azon, miért), ennek megfelelően az áramerősség változása is ugrásszerű. A kapcsolókaros ellenállásokat a villanymotorok be-, illetve kikapcsolására használják.

Minden reosztátot meghatározott feszültségre méreteztek. A reosztát maximális ellenállását és a megengedett maximális feszültségét a készülék külső borításán szokták feltüntetni.

A reosztátok tekercseit rendszerint nagy fajlagos ellenállású fémekből (ötvözetekből) készítik (konstantán, manganin, nikróm, fehrál).

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**1. feladat.** Számítsátok ki az áram erősségét abban a rézdrótban, amelynek hossza 10 m, keresztmetszete pedig 5 $mm^2$, ha a vezető végpontjaira 34 mV feszültséget kapcsoltak!

Adott:
$l = 10$ m
$S = 0{,}5$ $mm^2$
$U = 0{,}034$ V
$r = 0{,}017 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$

$I - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

Az áramerősséget Ohm törvényéből számíthatjuk ki. Ehhez azonban előbb meg kell határozni a vezető ellenállását. Felhasználjuk a vezető ellenállásának kiszámítására szolgáló képletet; a réz fajlagos ellenállását megkeressük a megfelelő táblázatban.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

Ohm törvénye szerint $I = \frac{U}{R}$ (1).

A vezető ellenállása az $R = \rho \frac{l}{S}$ (2)

képlettel határozható meg. Behelyettesítjük a (2) képletet az (1)-be:

$$I = \frac{U}{\rho \cdot \frac{l}{S}} = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l}.$$

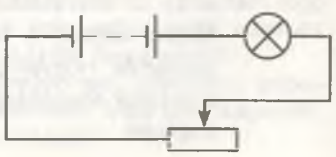
Meghatározzuk a keresett mennyiség értékét:

$$[I] = \frac{V \cdot mm^2}{\Omega \cdot \frac{mm^2}{m} \cdot m} = \frac{V \cdot mm^2}{\Omega \cdot mm^2} = \frac{V}{\frac{V}{A}} = A;$$

$$\{I\} = \frac{0{,}034 \cdot 0{,}5}{0{,}017 \cdot 10} = 0{,}1\ A.$$

*Felelet:* az áramerősség a vezetőben 0,1 A.

**2. feladat.** Az ábrán áramforrásból, izzólámpából és reosztátból álló áramkör kapcsolási rajza látható. Hogyan változik meg az izzószál fényereje, ha a reosztát csúszkáját jobbra toljuk?



*A fizikai probléma elemzése, megoldás*

Ha jobbra toljuk a reosztát csúszkáját, megnő a tekercs hossza, amiben az áram folyik. Tehát a reosztát ellenállása szintén megnő, ennek megfelelően megnő a szakasz ellenállása is. Mivel a szakasz feszültsége nem változott, ezért az ellenállás növelése az áramerősség csökkenéséhez vezet (Ohm törvényének értelmében). Tehát a lámpa izzószála gyengébben fog világítani.

*Felelet:* az izzólámpa fényereje csökkeni fog.

## Összegzés

A vezető $R$ ellenállása egyenesen arányos a hosszával $l$, fordítottan arányos a keresztmetszetével $S$ és függ a vezető anyagától: $R = \rho\frac{l}{S}$, ahol $\rho$ az anyag fajlagos ellenállása.

Az anyag fajlagos ellenállása az adott anyag elektromos tulajdonságait jellemző fizikai mennyiség, amely számbelileg megegyezik a belőle készített 1 m hosszú és 1 $m^2$ keresztmetszetű vezető ellenállásával.

Az áramerősség szabályozására a körben reosztátokat – változtatható ellenállásokat – használnak.

A gyakorlatban toló-, karos- és más típusú ellenállásokat használnak.

## Ellenőrző kérdések

**1.** Bizonyítsátok be, hogy a vezető ellenállást fejt ki az árammal szemben! **2.** Hogyan bizonyítható, hogy a vezető ellenállása egyenesen arányos a hosszával? **3.** Függ-e a vezető ellenállása keresztmetszetének a területétől? Ha igen, hogyan? **4.** Milyen képlettel számítják ki a vezető ellenállását? **5.** Mi az anyag fajlagos ellenállása? **6.** Az anyag mely tulajdonságai határozzák meg azt, hogy használható-e az elektromos hálózat kiépítésében? **7.** Mi a reosztát? **8.** Milyen reosztát típusokat ismertek? Miben különböznek egymástól? **9.** Magyarázzátok el a tolóellenállás felépítését és működési elvét! **10.** Hogyan jelölik a reosztátot a kapcsolási rajzon?

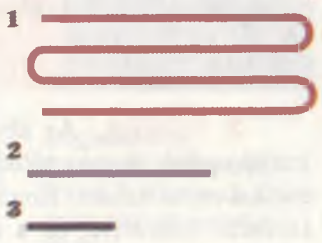
## 12. gyakorlat

**1.** Az 1. ábrán azonos keresztmetszetű, de különböző anyagból (vas, réz, ólom) készült vezetők láthatók. Állapítsátok meg, milyen anyagból készültek az egyes vezetők, ha ismert, hogy az ellenállásuk egyforma!

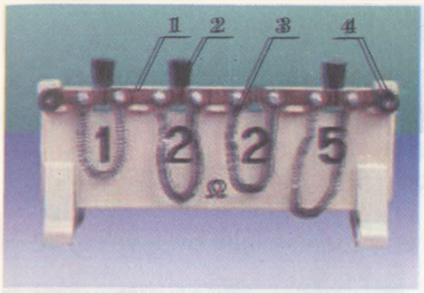
**2.** A 2. ábra alapján magyarázzátok el a dugaszos ellenállásszekrény működési elvét!

**3.** Számítsátok ki az 1 km hosszú rézdrót ellenállását, ha keresztmetszete 0,68 $cm^2$!

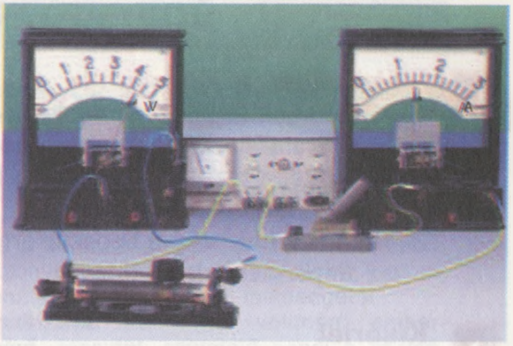
**4.** A 25 Ω ellenállású szigetelt vezetéket felébe vágták, a feleket pedig összecsavarták. Hogyan és hányadára változik a vezeték ellenállása? Válaszotokat indokoljátok!




1. ábra




2. ábra. Dugaszos ellenállásszekrény: *1* rézlemez; *2* dugó; *3* spirál; *4* szorítócsavar



3. ábra

5. Rajzoljátok le a 3. ábrán látható áramkör kapcsolási rajzát! A mérőműszerek állása alapján számítsátok ki a reosztát áramkörbe kötött részének ellenállását! Hogyan változik ez az érték, illetve a műszerek állása, ha a reosztát csúszkáját jobbra toljuk?
6. Milyen hosszúnak kell lennie annak a 0,2 $mm^2$ keresztmetszetű nikróm vezetőnek, hogy 0,4 A erősségű áram átfolyásakor a végpontjain 4,4 V legyen a feszültség?
7. 15 A áramerősség mellett a 10 m hosszú rézdróton 0,85 V a feszültség. Határozzátok meg a vezeték keresztmetszetét!
8. A 100 m hosszú áramjárta alumíniumdrót végpontjai közötti feszültség 1 V. Mennyi a vezeték tömege, ha a benne folyó áram erőssége 15 A? Az alumínium sűrűsége 2700 $\frac{kg}{m^3}$.

**Kísérleti feladat.**

Készítsetek acéldrótból 0,2 Ω ellenállású rezisztort! Ismertessétek az eljárás módját! Ne felejtsétek el feltüntetni a felhasznált drót átmérőjét és hosszát!

## 4. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** A vezető ellenállásának meghatározása ampermérő és voltmérő segítségével.

**Cél:** megtanulni a vezető ellenállásának meghatározását ampermérő és voltmérő segítségével; kísérleti úton meggyőződni arról, hogy a vezető ellenállása nem függ a benne folyó áram erősségétől, valamint a végpontjai közötti feszültségtől.

**Eszközök:** áramforrás, ellenállás, tolóellenállás, ampermérő, voltmérő, kapcsoló, összekötő vezetékek.

# ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

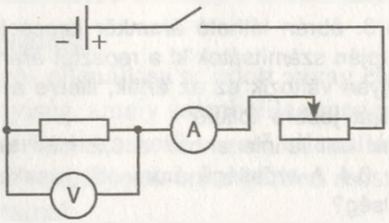
## Előkészület a kísérlethez

1. Mielőtt nekifognátok a munkának, győződjetek meg arról, hogy tudjátok:
   1) az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait;
   2) azokat a szabályokat, amelyeket be kell tartani a feszültség és áramerősség mérése közben.
2. Határozzátok meg a beosztásértéket és a méréshatárokat a voltmérő és az ampermérő skáláján!

## Kísérlet

*A kísérlet eredményét foglaljátok táblázatba!*

1. Állítsátok össze az áramkört az ábrán látható kapcsolási rajz szerint!




2. Zárjátok az áramkört, és mérjétek meg a feszültséget az ellenálláson, valamint a rajta áthaladó áram erősségét!
3. Növeljétek a körben folyó áram erősségét a reosztát csúszkájának fokozatos elmozdításával! Jegyezzétek fel a voltmérő és az ampermérő állását!
4. Mozdítsátok el a reosztát csúszkáját az ellenkező irányba, és újra mérjétek meg a feszültséget, valamint az áramerősséget!

## A kísérlet eredményeinek feldolgozása

1. Számítsátok ki a rezisztor ellenállását minden vizsgált esetben!
2. A mérések eredményeit foglaljátok táblázatba!

| A kísérlet sorszáma | Áramerősség $I$, A | Feszültség $U$, V | Ellenállás $R$, Ω |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |

## A kísérlet és eredményeinek elemzése

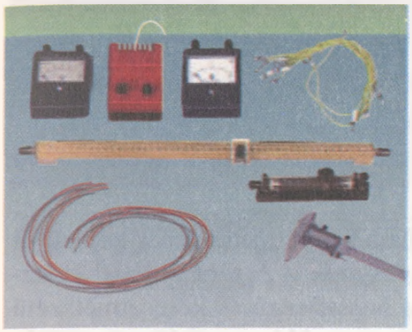
Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Vonjatok le következtetést arról, hogy:

1) milyen fizikai mennyiséget határoztatok meg, és a mérést milyen műszerekkel végeztétek;
2) függ-e a meghatározott mennyiség a rezisztoron átfolyó áramerősségtől, valamint a rákapcsolt feszültségtől;
3) milyen tényezők befolyásolták a mérés pontosságát!

## Alkotói feladat

A kísérleti eredmények alapján rajzoljátok meg a rezisztor volt-amper jelleggörbéjét! A grafikon alapján határozzátok meg a rezisztor ellenállását, és hasonlítsátok össze a számításaitok eredményeivel!

## 5. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA



**Téma.** A vezető elektromos ellenállásának a hosszától, a keresztmetszete területétől és az anyagától való függésének tanulmányozása.

**Cél:** annak a tisztázása, hogyan függ a vezető elektromos ellenállása a hosszától és a keresztmetszete területétől; annak a bizonyítása, hogy a vezető elektromos ellenállása függ anyagi minőségétől.

**Eszközök:** áramforrás, voltmérő, ampermérő, reosztát, szigetelő panel a vezetékeknek, három azonos anyagból készült, egyforma hosszúságú és keresztmetszetű vezeték; három különböző anyagból készült, de azonos hosszúságú és keresztmetszetű vezeték; összekötő vezetékek, tolómérő vagy mikrométer.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Előkészület a kísérlethez

1. Mielőtt nekifognátok a munkának, győződjetek meg arról, hogy tudjátok:
   1) az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait;
   2) azokat a szabályokat, amelyeket be kell tartani a feszültség és áramerősség mérése közben!
2. Határozzátok meg a beosztásértéket és a méréshatárokat a voltmérő és az ampermérő skáláján!

#### Kísérlet

1. Vizsgáljátok meg, hogyan függ a vezető ellenállása a hosszától! Ehhez a következőt kell tenni *(a mérések és a számítások eredményeit foglaljátok az 1. táblázatba)*:
   1) vegyétek az egyik azonos anyagból készült, azonos hosszúságú és keresztmetszetű drótot, és a szorítócsavar segítségével rögzítsétek a szigetelőpanelen;
   2) állítsátok össze az áramkört a 68. oldalon látható kapcsolási rajz szerint, mérjétek meg az áramerősséget és a feszültséget a vezetéken;
   3) előbb felére, majd negyedére csökkentve a drót hosszát, újra mérjétek meg a dróton áthaladó áram erősségét, valamint a végpontjaira kapcsolt feszültséget;
   4) minden egyes esetben számítsátok ki a drót ellenállását az $R = \frac{U}{I}$ képlet alapján;
   5) vonjatok le következtetést a vezető ellenállása és a vezető hossza közötti összefüggés jellegéről!

*1. táblázat*

| A kísérlet sorszáma | Feszültség $U$, V | Áramerősség $I$, A | A vezető hossza $l$ | Ellenállás $R$, Ω |
|---|---|---|---|---|
| 1. | | | $l$ | |
| 2. | | | $l/2$ | |
| 3. | | | $l/4$ | |

**2.** Vizsgáljátok meg, hogyan függ a vezető ellenállása keresztmetszetének területétől (*a mérések és a számítások eredményeit foglaljátok a 2. táblázatba*)! Használjátok az azonos anyagból készült, azonos hosszúságú és keresztmetszetű drótokat. Tekintsétek úgy, hogy amikor a szorítócsavarokkal egy drótot rögzítünk, a vezető keresztmetszetének területe $S$, amikor ugyanazzal a csavarpárral kettőt rögzítünk $2S$, ha pedig hármat $3S$.

Minden esetben mérjétek meg a vezetékben folyó áramerősséget, valamint a végpontjai közötti feszültséget, és számoljátok ki a vezeték ellenállását!

Vonjatok le következtetést a vezető ellenállása és a vezető keresztmetszete közötti összefüggés jellegéről!

*2. táblázat*

| A kísérlet sorszáma | Feszültség $U$, V | Áramerősség $I$, A | A vezető keresztmetszetének területe $S$ | Ellenállás $R$, Ω |
|---|---|---|---|---|
| 1. | | | $S$ | |
| 2. | | | $2S$ | |
| 3. | | | $3S$ | |

**3.** Bizonyítsátok be, hogy a vezető ellenállása annak az anyagnak a tulajdonságaitól is függ, amiből készült (*a mérések és a számítások eredményeit foglaljátok a 3. táblázatba*)! A kísérlethez használjátok a különböző anyagból készült, de azonos hosszúságú és keresztmetszetű három drótot.

Vonjatok le következtetést a vezető ellenállása és az anyaga közötti összefüggés jellegéről!

*3. táblázat*

| A kísérlet sorszáma | Feszültség $U$, V | Áramerősség $I$, A | Ellenállás $R$, Ω |
|---|---|---|---|
| 1. | | | |
| 2. | | | |
| 3. | | | |

### A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Vonjatok le következtetést arról, hogy:

1) hogyan függ az elektromos ellenállás a vezető hosszától, valamint keresztmetszetének területétől;
2) függ-e a vezető ellenállása a vezető anyagától;
3) milyen tényezők befolyásolták a mérések pontosságát!

### Alkotói feladat

Kísérleti úton határozzátok meg a mérések során használt egyik drót anyagának fajlagos ellenállását! Magyarázzátok meg, miért különbözhetnek az általatok kapott értékek a fajlagos ellenállás táblázati értékeitől (l. a 63. old.)!

## 13. §. A VEZETŐK SOROS KAPCSOLÁSA

Képzeljetek el egy olyan lejátszót, amelyiken nincs ki- és bekapcsoló gomb, amit csak úgy lehet kikapcsolni, hogy eltávolítjuk az akkumulátort. Ugye nagyon kényelmetlen lenne? A kapcsoló hiánya csak kényelmetlenséget okoz, de a kapcsoló helytelen bekötése az áramkörbe már súlyosabb bajt is okozhat (a lejátszó tönkremehet). Ebből a paragrafusból megtudhatjátok, hogyan kell bekötni a kapcsolókat a készülékekben és a műszerekben, és azt is, milyen jellegzetességeik vannak az ilyen kapcsolásoknak.

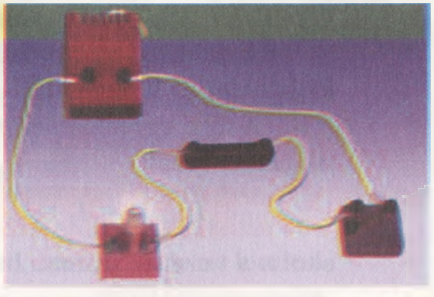
### Tanulmányozzuk a sorosan kapcsolt vezetőkből álló áramkör jellegzetességeit és tulajdonságait

A 13. 1. ábrán látható áramkörnek nincsenek elágazásai, vagyis a kör elemei sorban egymás után helyezkednek el. Az ilyen kapcsolást *sorosnak* nevezik.

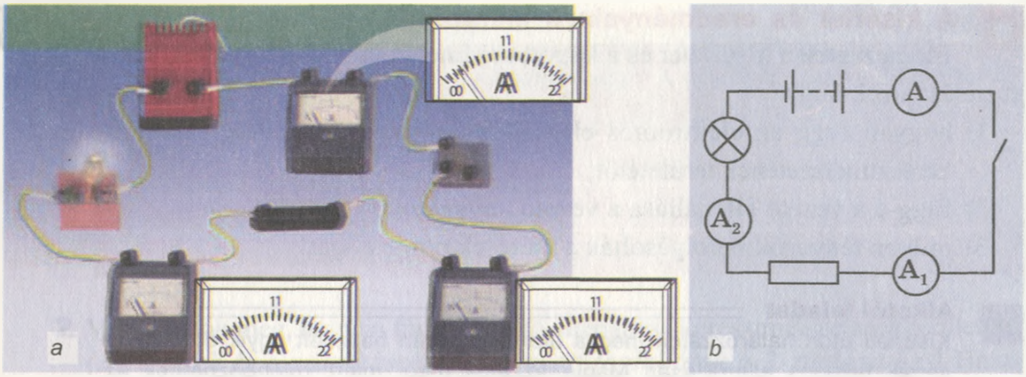
Figyeljétek meg: ha a sorosan kapcsolt vezetők egyike tönkremegy, a többi sem működik, mert a *kör megszakad.*

Már alkalmaztátok a vezetők soros kapcsolását, amikor ampermérővel mértétek az áramerősséget (lásd a 2. sz. laboratóriumi munkát), tehát különösebb erőfeszítések nélkül előre megmondhatjátok a 13. 2. ábrán látható kísérlet eredményeit. Kézenfekvő a következtetés, hogy *a vezetők soros kapcsolásakor az áram ereje a teljes körben, valamint az egyes vezetőkben azonos:*

$$I = I_1 = I_2.$$



**13. 1. ábra.** Néhány vezető soros kapcsolása




**13. 2. ábra.** Áramerősség mérése az egymással sorosan kapcsolt vezetőkből álló áramkör különböző szakaszain: *a* általános nézet; *b* az áramkör kapcsolási rajza. Az áramerősség minden vezetőben egyenlő

Erre a következtetésre egyszerű elméleti megfontolással juthatunk el. Mivel a vezetők soros kapcsolású körében nincsenek elágazások, így a bármelyik vezető keresztmetszetén $t$ idő alatt áthaladó töltésmennyiség egyforma lesz: $q = q_1 = q_2$. Elosztva ezt a kifejezést $t$-vel, adódik: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t_1} = \frac{q_2}{t_2}$. Tehát $I = I_1 = I_2$.

Ahhoz, hogy hogyan viszonyul az összfeszültség* két sorosan kapcsolt vezetőn, valamint az $U_1$ és az $U_2$ feszültség az első, illetve a második vezetőn, felidézzük a feszültség kiszámítására szolgáló képletet: $U = \frac{A}{q}$.

Ha az elektromos tér a $q$ töltés elmozdításakor az első vezetőben $A_1$ munkát végez, a másodikban pedig $A_2$-t, akkor érthető, hogy a töltés elmozdítására mindkét vezetőben $A = A_1 + A_2$ munkát kell végezni. Elosztva az egyenlőség mindkét oldalát $q$-val, adódik: $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$ vagy $U = U_1 + U_2$.

Tehát *a két sorosan kapcsolt vezető összfeszültsége egyenlő az első vezető $U_1$, illetve a második vezető $U_2$ feszültségének összegével.*

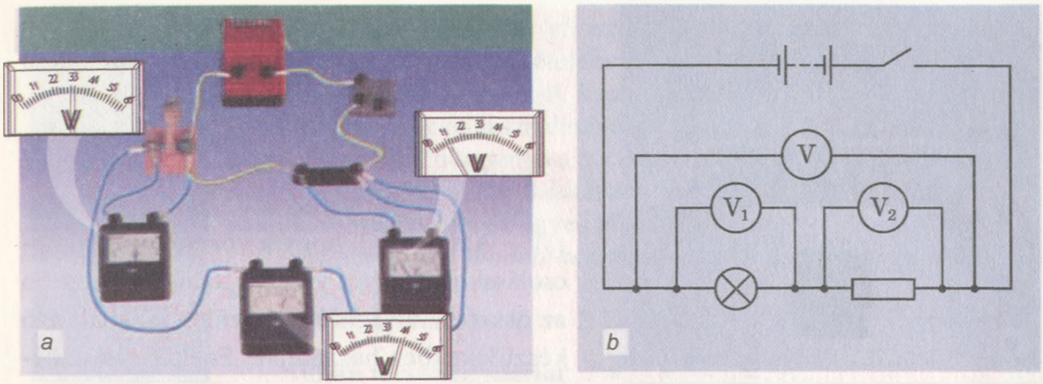
Az elméleti megfontolásokból kapott következtetés könnyen ellenőrizhető kísérletileg (13. 3. ábra).

A fenti egyenlőségek tetszőleges számú sorosan kapcsolt vezető esetében is igazak. Tehát:

$$I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n; \qquad U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n,$$

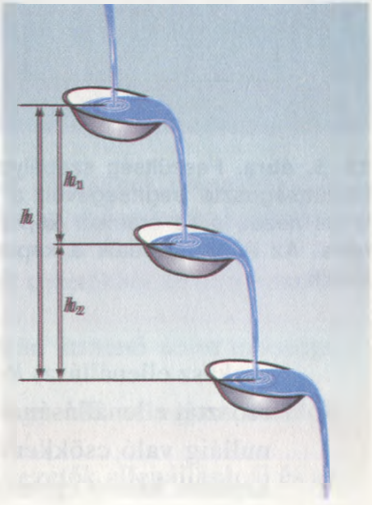
ahol $n$ a vezetők száma.

* Itt összfeszültségen az egymáshoz kapcsolt vezetők végpontjai közötti feszültséget értjük.




**13. 3. ábra.** Feszültség mérése a sorosan kapcsolt vezetőkből álló áramkör különböző szakaszain: *a* általános nézet; *b* az áramkör kapcsolási rajza. Az izzóból és ellenállásból álló áramkör szakaszán mért teljes feszültség egyenlő az egyes készülékeken mért feszültségek összegével

Ahhoz, hogy jobban megértsük a vezetők soros kapcsolásának tulajdonságait, használjátok a mechanikai analógiát (13. 4. ábra); a megfelelő hasonlóságokat keressétek meg önállóan.




**13. 4. ábra.** A sorosan kapcsolt vezetők mechanikai modellje

## 2 Levezetjük az ellenállás kiszámítására szolgáló képletet

A két, sorosan kapcsolt vezetőből álló szakasz eredő (teljes) ellenállásának kiszámításához használjuk az $U = U_1 + U_2$ képletet.

Ohm törvényének megfelelően az áramerősség a teljes szakaszon $I = \frac{U}{R}$; innen $U = IR$.

Mivel $I = I_1 = I_2$, úgy $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$. Tehát $IR = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$. Az $I$-vel való egyszerűsítést követően kapjuk: $R = R_1 + R_2$.

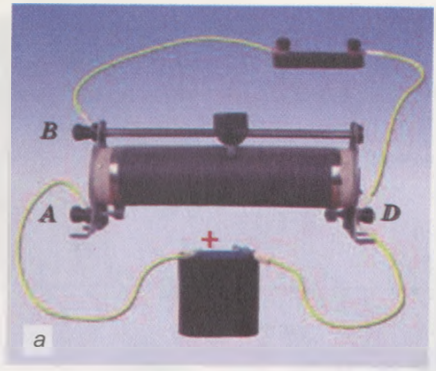
Ha az áramkör több sorosan kapcsolt vezetőből áll, akkor az eredő ellenállásuk egyenlő az egyes vezetők ellenállásának az összegével:

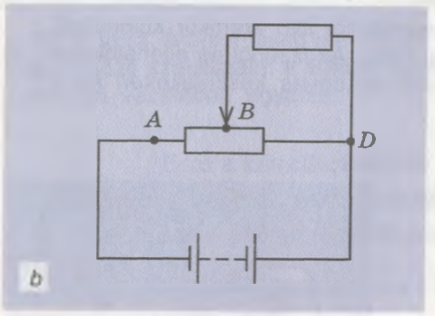
$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n,$$

ahol $n$ a vezetők száma.

Az utóbbi képletet elemezve az alábbi következtetéseket lehet levonni:

– a sorosan kapcsolt vezetők eredő ellenállása nagyobb az egyes vezetők ellenállásánál;




**13. 5. ábra.** Feszültség szabályozása feszültségosztó segítségével: *a* általános nézet; *b* az áramkör kapcsolási rajza. Az *A*, *B*, *D* betűk a kapcsokat jelölik

– a sorosan kapcsolt, egyenként $R'$ ellenállású vezetők $R$ eredő ellenállása: $R = nR'$, ahol $n$ a vezetők száma.

## 3 Megismerkedünk a potenciométerrel

Azt a tényt, hogy a vezetők soros kapcsolásakor az egyes vezetők feszültsége kisebb az összfeszültségnél, a feszültségszabályozó készülékekben használják. Ezeket a készülékeket *feszültségosztónak* vagy *potenciométernek* nevezik. A 12. paragrafusban már szó volt arról, hogy feszültségosztóként használható a háromkapcsos tolóellenállás (l. a 12. 5. ábrát). A feszültségosztóként működő reosztátot tartalmazó áramkör a 13. 5. ábrán látható.

A reosztát $A$ és $D$ kapcsaira $U$ feszültséget adunk az áramforrásról *(bemenő feszültség)*. A $B$ és a $D$ kapcsokat összekötjük a fogyasztóval (jelen esetben az ellenállással), amin az $U_1$ feszültséget kell szabályozni. Ezt a feszültséget *kimenő feszültségnek* nevezzük.

A reosztát csúszkáját jobbra tolva a reosztát aktív részének $R_1$ ellenállását (a $BD$ szakasz ellenállása) $R$-ről (az $AD$ szakasz ellenállása) nulláig változtatjuk. A reosztát ellenállásának csökkentése a kimenő $U_1$ feszültség értékének $U$-ról nulláig való csökkenését okozza. Valóban, mivel a feszültség a $B$ és a $D$ kapcsok között egyenlő $U_1 = I R_1$, a reosztáton átfolyó áram erőssége pedig $I = \frac{U}{R}$, ezért $U_1 = \frac{UR_1}{R}$. Tehát, amikor $R = R_1$ (a reosztát csúszkája a bal szélső helyzetben van), akkor $U_1 = U$, vagyis a kimenő és a bemenő feszültség megegyezik; ha $R_1 = 0$ (a reosztát csúszkája a jobb szélső helyzetben van), akkor $U_1 = 0$, vagyis a kimenő feszültség szintén nullával egyenlő.

## 4 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Három, egyenként 2, 3 és 7 Ω-os ellenállást sorosan kapcsoltak. Mennyi a szakasz ellenállása? Mekkora a feszültség az egyes ellenállásokon és mennyi a szakaszon átfolyó áram erőssége, ha a vizsgált szakasz teljes feszültsége 36 V?

Adott:
$R_1 = 2\ \Omega$
$R_2 = 3\ \Omega$
$R_3 = 7\ \Omega$
$U = 36\ \text{V}$

$R - ?$
$U_1 - ?$
$U_2 - ?$
$U_3 - ?$
$I - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

Mivel a feladat feltételében mindhárom sorosan kapcsolt rezisztor ellenállása szerepel, kiszámíthatjuk az eredő ellenállást. Ohm törvényének felhasználásával meghatározzuk a körben folyó áram erősségét. Felhasználva azt, hogy az áramerősség a sorosan kapcsolt vezetőkből álló szakaszon mindenütt egyforma, kiszámítjuk a feszültséget az egyes ellenállásokon.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2\ \Omega + 3\ \Omega + 7\ \Omega = 12\ \Omega.$$

Ohm törvénye szerint: $I = \frac{U}{R} = \frac{36\ \text{V}}{12\ \Omega} = 3\text{A}$.

Mivel $I = I_1 = I_2 = I_3$, ezért $I_1 = 3\ \text{A}$, $I_2 = 3\ \text{A}$, $I_3 = 3\ \text{A}$.

$$U_1 = I_1R_1 = 3\ \text{A} \cdot 2\ \Omega = 6\ \text{V};\ U_2 = I_2R_2 = 3\ \text{A} \cdot 3\ \Omega = 9\ \text{V};$$
$$U_3 = I_3R_3 = 3\ \text{A} \cdot 7\ \Omega = 21\ \text{V}.$$

Elemezzük az eredményeket: az áramkör szakaszának teljes feszültsége $U = 6\ \text{V} + 9\ \text{V} + 21\ \text{V} = 36\ \text{V}$. A kapott eredmény megegyezik a feladat feltételében megadott feszültségértékkel, tehát a feladat megoldása helyes.

*Felelet:* $R = 12\ \Omega$; $U_1 = 6\ \text{V}$; $U_2 = 9\ \text{V}$; $U_3 = 21\ \text{V}$; $I = 3\ \text{A}$.

## Összegzés

A sorosan kapcsolt vezetőkből álló áramkörnek nincsenek elágazásai. A vezetők sorban egymás után vannak bekötve a körbe. Az egyik fogyasztó kiiktatása a kör megszakításához vezet.

Ha az áramkör szakasza kizárólag sorosan kapcsolt vezetőkből áll ($n$ a vezetők száma), akkor igazak a következő állítások:

– a szakasz áramerőssége és az egyes vezetőkön átmenő áram erőssége egyenlő: $I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n$;

– az áramkör szakaszának teljes feszültsége egyenlő az egyes vezetők feszültségének az összegével: $U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$;

– a szakasz eredő ellenállása nagyobb az egyes vezetők ellenállásánál és az $R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ képlettel számítjuk ki.

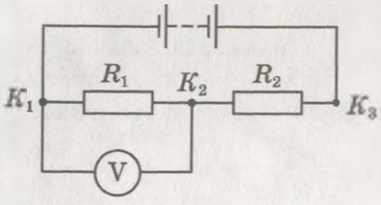
A feszültségosztó (potenciométer) az áramkör adott szakaszának feszültségét szabályozó készülék. Feszültségosztóként általában a háromkapcsú tolóellenállást használják.

## Ellenőrző kérdések

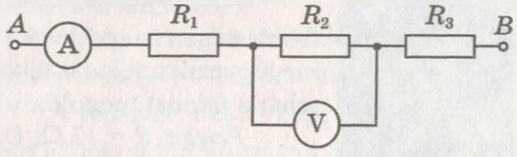
1. Milyen sajátosságokkal rendelkezik a sorosan kapcsolt vezetőkből álló áramkör? 2. Magyarázzátok meg, miért kapcsolják minden esetben sorosan a kapcsolót és a fogyasztót! 3. Mi mondható a sorosan kapcsolt áramkörben folyó áram erősségéről? Az állításokat igazoljátok! 4. Milyen összefüggés áll fenn a sorosan kapcsolt vezetők összfeszültsége és az egyes vezetők feszültsége között? 5. Hogyan kell kiszámítani a sorosan kapcsolt vezetőkből álló áramkör eredő ellenállását? 6. Hogyan változik meg az áramkör szakaszának ellenállása, ha hozzá sorosan még egy vezetőt kapcsolunk? 7. Írjátok le a feszültségosztó felépítését és működési elvét!

## 13. gyakorlat

1. A két sorosan kapcsolt izzó és egy reosztát eredő ellenállása 65 Ω. Határozzátok meg a reosztát ellenállását, ha az egyes izzók ellenállása 15 Ω!
2. A feszültségosztó két ellenállásból tevődik össze (1. ábra). Az $R_1$ rezisztor ellenállása 15 Ω, az $R_2$-é pedig 10 Ω. A $K_1$ és $K_3$ közötti kapocsfeszültség 100 V. Mennyi a feszültség a $K_1$ és $K_2$ között?
3. Sorba kapcsolható-e az elektromos hálózatba a 0,3 A áramerősségre méretezett zseblámpaizzó egy 220 V-ra méretezett izzóval, ha ez utóbbi ellenállása 1100 Ω? Válaszotokat indokoljátok!
4. A két sorosan kapcsolt vezető egyikének ellenállása 650 Ω. Határozzátok meg a másik vezető ellenállását, ha benne 80 mA erősségű áram folyik, a két vezető végpontjain mért feszültség pedig 72 V!
5. Az áramkör szakasza három sorosan kapcsolt vezetőből áll, amelyek ellenállása: $R_1 = 5$ Ω; $R_2 = 8$ Ω; $R_3 = 15$ Ω (2. ábra). Mit mutat az ampermérő? Mennyi az $A$ és $B$ pontok közötti feszültség, ha a voltmérő 1,6 V-ot mutat?




1. ábra

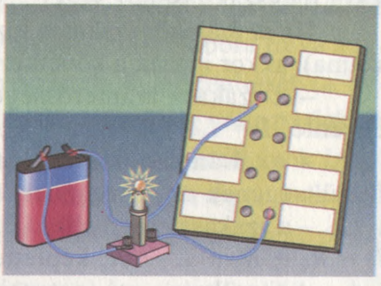



2. ábra

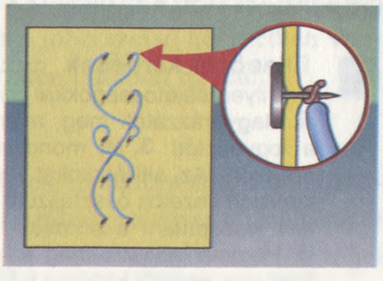
## Kísérleti feladat

Készítsetek a tudás ellenőrzésére szolgáló készüléket (3. ábra). Ehhez a következőket kell tenni.

1. Egy kemény kartonlapra ragasszatok két oszlopban 10–16 téglalap alakú papírcsíkot!
2. A bal oldali oszlopban elhelyezett papírcsíkokra írjátok fel a kérdéseket!
3. A jobb oldalon található papírcsíkokra úgy írjátok fel a választ, hogy a „kérdés – helyes válasz" páros ne kerüljön azonos sorba.
4. Minden téglalap mellé szúrjatok rajszöget, hogy feje felétek nézzen!
5. Vezetékek segítségével kössétek össze a rajszögeket a kartonpapír hátoldalán úgy, hogy „kérdés – helyes válasz" párosok keletkezzenek (4. ábra), és állítsátok össze az áramkört!
6. Ellenőrizzétek az osztálytársaitok tudását! Kérjétek meg őket, hogy a drótok szabad végét érintsék a kérdés, illetve a válasz kapcsokhoz! Ha a válasz helyes, a lámpa kigyúl.



3. ábra



4. ábra

## 6. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** A soros kapcsolás tanulmányozása.
**Cél:** annak a kísérleti ellenőrzése, hogy két vezető soros kapcsolásakor teljesül: $I = I_1 = I_2$; $U = U_1 + U_2$; $R = R_1 + R_2$.
**Eszközök:** áramforrás, voltmérő, ampermérő, kapcsoló, két ellenállás, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Előkészület a kísérlethez

1. A munka elkezdése előtt győződjetek meg arról, hogy ismeritek-e az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait!
2. Ábrázoljátok a sorosan kapcsolt két ellenállásból, kapcsolóból és áramforrásból álló áramkör kapcsolási rajzát!
3. Állítsátok össze és írjátok le a kísérlet elvégzésének tervét! Ha bizonytalanok vagytok, használjátok az alábbi tervet.

#### Kísérlet

**1. kísérlet.** Az áramerősség összehasonlítása a sorosan kapcsolt vezetőkből álló kör különböző szakaszain!

1. Állítsátok össze az áramkört a kapcsolási rajz alapján!
2. Mérjétek meg az áramerősséget előbb az áramforrás és az első ellenállás ($I_1$), majd a kapcsoló és a második ellenállás ($I_2$), végül a kapcsoló és az áramforrás közé kapcsolva az ampermérőt ($I$)! Rajzoljátok le a megfelelő áramköröket!
3. A méréseredményeket foglaljátok az 1. táblázatba, és vonjatok le következtetést!

*1. táblázat*

| $I_1$, A | $I_2$, A | $I$, A | Következtetés |
|---|---|---|---|
| | | | |

**2. kísérlet.** Az egymással sorba kapcsolt ellenállások végpontjain mért összfeszültségnek és az egyes ellenállásokon mért feszültségek összegének összehasonlítása.

1. Az 1. kísérletben összeállított áramkörben előbb mérjétek meg a feszültséget az első ellenálláson ($U_1$), majd a másodikon ($U_2$), végül a sorba kapcsolt ellenállások végpontjain ($U$). Készítsétek el a megfelelő áramkörök kapcsolási rajzát!
2. A mérések eredményeit írjátok be a 2. táblázatba, és vonjatok le következtetést!

*2. táblázat*

| $U_1$, V | $U_2$, V | $U$, V | $(U_1 + U_2)$, V | Következtetés |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

## A kísérlet eredményeinek feldolgozása

1. Az 1. és 2. kísérlet eredményeinek felhasználásával számítsátok ki az első ($R_1$) és a második ($R_2$) rezisztor ellenállását, valamint a két rezisztort tartalmazó szakasz eredő ellenállását ($R$)!
2. A számítások eredményeit írjátok be a 3. táblázatba és vonjatok le következtetést!

*3. táblázat*

| $R_1$, Ω | $R_2$, Ω | $R$, Ω | $(R_1 + R_2)$, Ω | Következtetés |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

## A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Vonjatok le következtetést:

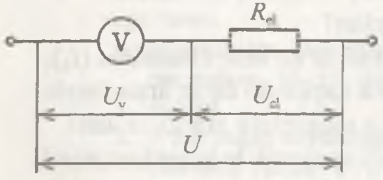
1) arról, hogy milyen egyenlőségeket ellenőriztetek, és milyen eredményeket kaptatok a sorosan kapcsolt vezetőkre vonatkozóan;
2) a mérések pontosságát befolyásoló tényezőkről!

## Alkotói feladat

Mielőtt elvégeznétek a feladatot, figyelmesen olvassátok el az elméleti tudnivalókat.

**Elméleti tudnivalók**

Minden voltmérőt egy bizonyos maximális feszültség mérésére terveztek. Azonban, ha a voltmérőhöz sorosan egy úgynevezett előtét ellenállást kapcsolunk, ez a méréshatár kiterjeszthető. Ez azért van így, mert a mérendő $U$ feszültség két részre oszlik: az egyik része a voltmérőre jut ($U_v$), míg a másik ($U_{el}$) az előtét ellenállásra. $U = U_v + U_{el}$ (l. az ábrát). Az előtét ellenállás értékét az $R_{el} = R_v(n - 1)$, ahol $R_v$ a voltmérő ellenállása; $n = \frac{U}{U_v}$ együttható, ami azt mutatja, hányszorosára nő meg a voltmérő méréshatára, vagyis hányszorosára nő meg skálájának beosztásértéke.




**Feladat**

Oldjátok meg a feladatot! Az eredményeket ellenőrizzétek kísérleti úton! Az iskolai voltmérő ellenállása 900 Ω, skálájának beosztásértéke 0,2 V, a méréshatára pedig 6 V. Mekkora ellenállású rezisztort kell sorosan hozzákapcsolni, hogy 30 V-os feszültséget mérhessünk vele? Mennyi lesz ebben az esetben a voltmérő skálájának beosztásértéke?

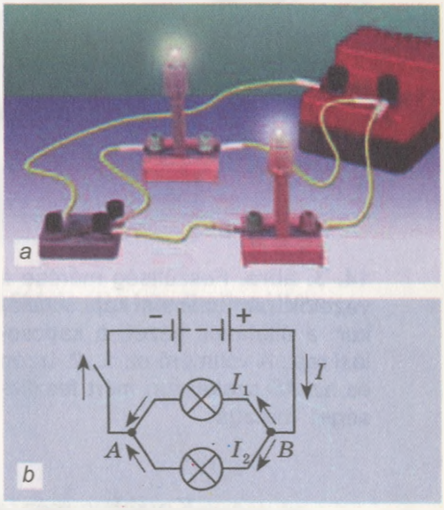
## 14. 5. A VEZETŐK PÁRHUZAMOS KAPCSOLÁSA

?! A gyakorlatban az áramkörhöz gyakran több fogyasztót is hozzá kell kapcsolni. Például az osztályterem világításának elektromos hálózata több izzót tartalmaz, eközben egy izzó kiégése gyakorlatilag nincs hatással a többi működésére. A fizikusok ilyen esetben azt mondják, hogy az izzókat párhuzamosan kötötték be. Ebből a paragrafusból megtudhatjátok, hogyan kell kiszámítani az áramerősséget, a feszültséget és az ellenállást párhuzamosan kapcsolt vezetők esetében.

### 1 Tanulmányozzuk a párhuzamosan kapcsolt vezetőkből álló áramkört

Megvizsgálunk egy olyan áramkört, amelyben két párhuzamosan bekötött izzólámpa van (14. 1. *a* ábra). Az áramkör kapcsolási rajzából (14. 1. *b* ábra) kitűnik, hogy: először is, az áram két úton, két *ágon* is haladhat a körben, amelyek mindegyike egy-egy izzót tartalmaz; másodszor, mindkét ágnak közös pontpárja van – az *A* és a *B* pont. Az ilyen pontokat *csomópontoknak** nevezzük. A csomópontokban az áramkör elágazik. Tehát *az elágazás* megléte *a párhuzamosan kapcsolt vezetőket tartalmazó áramkör sajátossága*.

Az áramkör kapcsolási rajza nem csak egy, de számos csomópontpárt is tartalmazhat. Ekkor az összes, tetszőleges csomópontpárhoz kapcsolt vezető *párhuzamosan* kapcsoltnak tekintendő (14. 2. ábra).



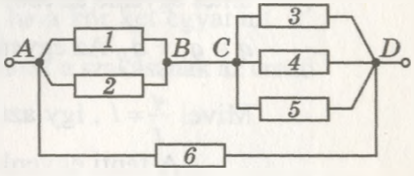

**14. 1. ábra.** Néhány fogyasztó párhuzamos kapcsolása: *a* általános nézet; *b* kapcsolási rajz; a nyilak az áram irányát mutatják

### 2 Tisztázzuk, hogyan kell kiszámítani az áramerősséget és a feszültséget a párhuzamosan kapcsolt vezetőkben

Ahhoz, hogy meghatározzuk a feszültséget a párhuzamosan kapcsolt vezetők mindegyikén, elegendő megmérni a feszültséget a csomópontok között. Így az *A* és a *B* csomópontokhoz kapcsolva a voltmérőt (14. 3. ábra), egyszerre megkapjuk a feszültséget az *AB* szakaszon, valamint minden egyes izzón is. Vagyis *a szakasz teljes feszültsége és a párhuzamosan kapcsolt vezetők feszültsége azonos*:

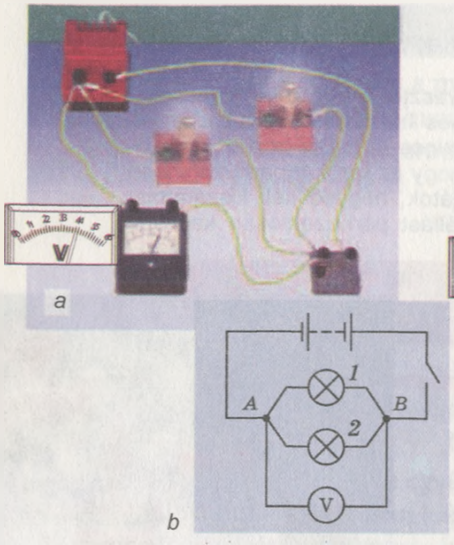
$$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n,$$

ahol $n$ a vezetők száma.

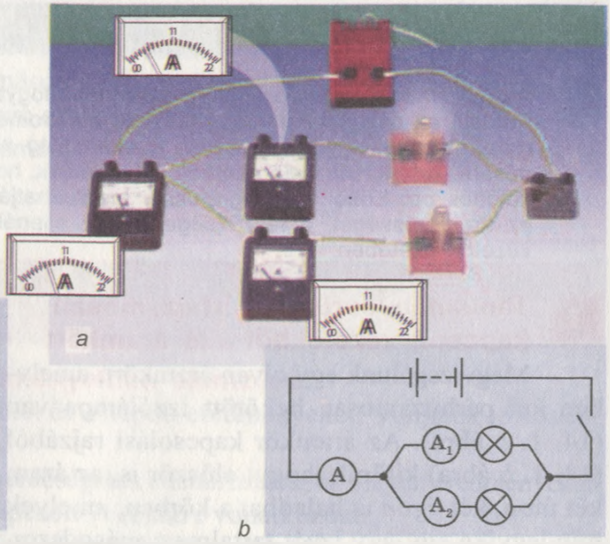



**14. 2. ábra.** Párhuzamosan kötött vezetőket tartalmazó áramkör egyik szakaszának kapcsolási rajza. Párhuzamosan kapcsoltak az *1.* és *2.* ellenállások (*A* és *B* csomópont), a *3.*, *4.*, és *5.* ellenállás (*C* és *D* csomópont); a *6.* ellenállás az *AD* szakasszal van párhuzamosan kapcsolva (*A* és *D* csomópont)

* *Csomópont* (vagy kötési pont) alatt legalább három vezeték kapcsolódási pontját értjük.




**14. 3. ábra.** Feszültség mérése a vezetők párhuzamos kapcsolásakor: *a* általános nézet; *b* kapcsolási rajz. A voltmérő az *1.*, *2.* izzón és az *AB* szakaszon mért feszültséget mutatja




**14. 4. ábra.** Áramerősség mérése a vezetők párhuzamos kapcsolásakor: a főágban az *A* ampermérővel mért áramerősség egyenlő a mellékágakban az $A_1$ és $A_2$ ampermérőkkel mért áramerősségek összegével

Korábban már szó esett arról, hogy a párhuzamosan kapcsolt vezetőkben az áram több útvonalon is folyhat (l. a 14. 1. *b* ábrát). Valóban, az elágazáshoz (a *B* csomóponthoz) érve az áram két ágra oszlik. Mivel a csomóponton nem halmozódik fel töltés, ezért a bizonyos *t* idő alatt a csomóponthoz érkezett *q* töltés egyenlő az ebből a csomópontból továbbhaladó ($q_1 + q_2$) töltés összegével: $q = q_1 + q_2$. Az egyenlőség mindkét oldalát *t*-vel elosztva adódik: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$.

Mivel $\frac{q}{t} = I$, így azt kapjuk, hogy $I = I_1 + I_2$.

A fenti egyenlőség tetszőleges számú párhuzamosan kapcsolt vezető esetében is teljesül. Bevezetünk még két fogalmat. Nevezzük főágnak az elágazásmentes, mellékágnak pedig az elágazásos áramköri szakaszokat. Így *párhuzamosan kapcsolt vezetők esetében a főágban folyó áram erőssége egyenlő a mellékágakban folyó áramerősségek összegével*:

$$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n,$$

ahol *n* a vezetők száma.

Ezt az állítást kísérletileg is bizonyítani lehet, ha a 14. 1. ábrán látható áramkörbe három ampermérőt kapcsolunk: egyet (*A*) a kör főágába, a másik kettőt ($A_1$ és $A_2$) pedig az egyes mellékágakba (14. 4. ábra).

Figyeljétek meg: ha a párhuzamosan kapcsolt izzók egyike tönkremegy, a többi továbbra is világítani fog, mivel a volfrámszálukon továbbra is áram folyik. Ezért érthető, miért kapcsolják rendszerint párhuzamosan a fogyasztókat a körbe.

### 3 Kivezetjük a párhuzamosan kapcsolt vezetőkből álló áramszakasz eredő ellenállásának képletét

A két párhuzamosan kapcsolt izzólámpából álló $AB$ szakasz (14. 1. ábra) $R$ eredő ellenállásának kiszámításához felhasználjuk az $I = I_1 + I_2$ egyenlőséget.

Az izzólámpák ellenállását $R_1$-gyel, illetve $R_2$-vel jelölve és Ohm törvényét alkalmazva, a következő egyenlőséghez jutunk: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$.

Mivel a vezetők párhuzamos kapcsolásakor $U = U_1 = U_2$, ezért $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} = \frac{U}{R_2}$.

Egyszerűsítve $U$-val a végső képlet:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Általános esetben a párhuzamosan kapcsolt vezetőkből álló kör $R$ ellenállása a következő képlettel számítható ki:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n},$$

ahol $n$ a vezetők száma.

A legutóbbi képlet elemzése során az alábbi következtetések vonhatók le:

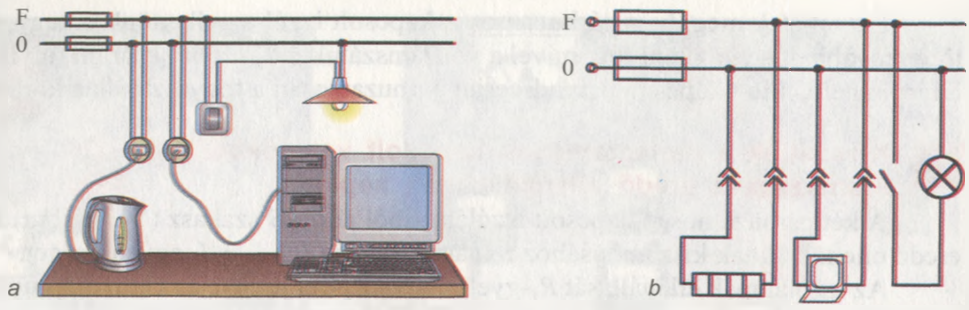
– a párhuzamosan kapcsolt vezetők eredő ellenállása kevesebb az egyes vezetők ellenállásánál;

– a párhuzamosan kapcsolt, egységesen $R'$ ellenállású vezetők $R$ eredő ellenállása: $R = \frac{R'}{n}$, ahol $n$ a vezetők száma. Például, ha a kör két egyaránt $R'$ ellenállású párhuzamosan kapcsolt vezetőből áll, akkor ennek a szakasznak az eredő ellenállása: $R = \frac{R'}{2}$.

### 4 Néhány fontos tény

Ha figyelmesen elolvastátok a paragrafus eddigi részét, könnyen megmagyarázhatjátok, miért kapcsolják párhuzamosan az elektromos hálózatba a különböző háztartási készülékeket. Csakis az ilyen kapcsolás biztosítja azt, hogy minden egyes készülék a megfelelő feszültséghez jusson. Emellett bármelyik fogyasztó kiiktatása nem okozza a többi kikapcsolását.

A 14. 5. ábrán egy lakás elektromos hálózatának részlete látható. A vízszintes vonalak azokat a vezetékeket mutatják, ahol 220 V a feszültség. Ezek a falba rejtett vezetékek az egész lakást behálózzák. Jelzésük – F és 0 – az elnevezésükből ered: megfelelően a fázis és a nullás vezeték. A fázis és a nullás vezeték közötti



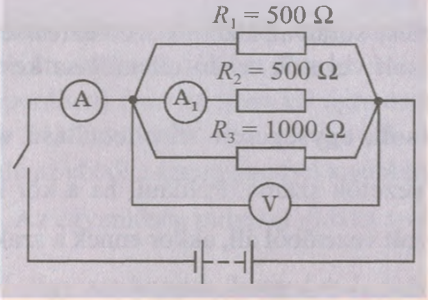

**14. 5. ábra.** A lakás elektromos hálózatának egy része: *a* általános nézet; *b* sematikus ábrázolás

feszültség 220 V. Minden fogyasztót hozzákapcsolnak a nullás vezetékhez. Minden kapcsolót a fázisvezeték és a fogyasztó közé iktatnak be. Az ilyen bekötés nyújtja a legnagyobb biztonságot (próbáljátok megmagyarázni, miért). Figyeljétek meg, hogy a lakás hálózatának minden egyes fogyasztója, vagy a potenciális fogyasztók (a konnektorok) párhuzamosan kapcsolódnak az F és a 0 vezetékekhez.

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**1. feladat.** Az ábrán egy áramkör kapcsolási rajza látható. Határozzátok meg az ampermérők állását, ha a voltmérő 12 V-ot mutat. A rezisztorok ellenállása fel van tüntetve az ábrán.

Adott:
$R_1 = 500\ \Omega$
$R_2 = 500\ \Omega$
$R_3 = 1000\ \Omega$
$U = 12$ V




$I$ –?
$I_1$ –?

*A fizikai probléma elemzése*

A kapcsolási rajzon látható, hogy az áramkör elágazik, tehát a kör párhuzamosan kapcsolt vezetőket tartalmaz.

Az $A$ ampermérő az áramkör főágába van kötve, az $A_1$ ampermérő pedig a *2.* ellenállást tartalmazó elágazásba, vagyis meg kell tudnunk az áramerősséget az elágazásig, valamint a *2.* ellenálláson áthaladó áramerősséget. A keresett mennyiségek értékét meghatározhatjuk Ohm törvényének felhasználásával, valamint az áramerősség és feszültség kiszámítására szolgáló képletekből párhuzamos kapcsolás esetén.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

Mivel a vezetők párhuzamos kapcsolásakor $U = U_1 = U_2 = U_3$, ezért $U_1 = 12$ V; $U_2 = 12$ V; $U_3 = 12$ V.

Ohm törvényének megfelelően: $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12\ \text{V}}{500\ \Omega} = 0{,}024\ \text{A}$;

$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12\ \text{V}}{500\ \Omega} = 0{,}024\ \text{A}$; $I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12\ \text{V}}{1000\ \Omega} = 0{,}012\ \text{A}$.

Az eredő áramerősség:

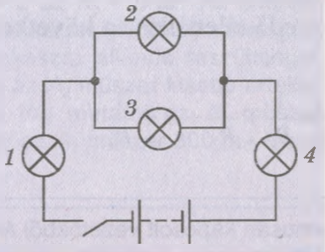
$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}024\ \text{A} + 0{,}024\ \text{A} + 0{,}012\ \text{A} = 0{,}6\ \text{A}$.

Elemezzük az eredményt. A kör teljes ellenállása $R = \frac{U}{I} = \frac{12\ \text{V}}{0{,}6\ \text{A}} = 220\ \Omega$ kisebb az egyes ellenállások értékénél, vagyis az eredmény elfogadható.

*Felelet:* az *A* amperměrő 60 mA-t, az $A_1$ amperměrő 24 mA-t mutat.

**2. feladat.** Négy egyforma izzólámpát az ábrán látható módon kötöttek be és kapcsoltak az áramforráshoz. Határozzátok meg az egyes lámpákon átfolyó áram erősségét, ha az áramforrás feszültsége 30 V, a lámpák ellenállása pedig 6–6 Ω.

Adott:
$U = 30\ \text{V}$
$R_1 = R_2 =$
$= R_3 = R_4 = 6\ \Omega$




$I_1$ –?
$I_2$ –?
$I_3$ –?
$I_4$ –?

*A fizikai probléma elemzése*
A bemutatott áramkör kapcsolási rajzának elemzése azt mutatja, hogy az adott áramkör vegyesen kapcsolt vezetőket tartalmaz: a *2.* és *3.* izzólámpa párhuzamosan van kapcsolva, míg az *1.* és *4.* sorosan a *2.* és *3.* izzó alkotta szakasszal.

Ohm törvényének és a soros, illetve párhuzamos kapcsolás áramerősségre és feszültségre vonatkozó törvényeinek felhasználásával meghatározzuk a keresett mennyiségeket.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6\ \Omega} + \frac{1}{6\ \Omega} = \frac{2}{6\ \Omega} = \frac{1}{3\ \Omega} \Rightarrow R_{2,3} = 3\ \Omega$.

$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6\ \Omega + 3\ \Omega + 6\ \Omega = 15\ \Omega$.

Ohm törvényének megfelelően: $I = \frac{U}{R} = \frac{30\ \text{V}}{15\ \Omega} = 2\ \text{A}$.

Mivel $I_1 = I_{2,3} = I_4 = I$, ezért $I_1 = 2\ \text{A}$; $I_{2,3} = 2\ \text{A}$; $I_4 = 2\ \text{A}$.

$U_{2,3} = I_{2,3} \cdot R_{2,3} = 2\ \text{A} \cdot 3\ \Omega = 6\ \text{V}$. $U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6\ \text{V}$; $U_3 = 6\ \text{V}$.

$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6\ \text{V}}{6\ \Omega} = 1\ \text{A}$; $I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6\ \text{V}}{6\ \Omega} = 1\ \text{A}$.

Elemezzük az eredményt: egyrészt, a 2. és 3. izzókból álló szakaszon a teljes áramerősség 2 A, másrészt

$I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1\ A + 1\ A = 2\ A$. Az eredmények megegyeznek, tehát a feladat megoldása helyes.

*Felelet:* az *1.* és *4.* izzóban az áramerősség 2 A; a *2.* és *3.* izzóban pedig 1A.

## Összegzés

A párhuzamos vezetőkből összeállított áramkörben szükségszerűen lennie kell elágazásnak, vagyis főágnak és mellékágnak. A vezetőket párhuzamosan kapcsoltnak tekintjük, ha csomópontpárhoz vannak kötve.

A párhuzamosan kapcsolt vezetők egyikének kiiktatása gyakorlatilag nincs hatással a többi működésére.

Ha a szakasz $n$ darab, kizárólag párhuzamosan kapcsolt vezetőből áll, akkor igazak az alábbi állítások:

– a feszültség minden vezetőn és a teljes szakaszon egyforma (a főágban és a mellékágakban mért feszültség ugyanakkora): $U = U_1 = U_2 = ... = U_n$;

– a főágban folyó áram erőssége egyenlő a mellékágakban folyó áramerősségek összegével: $I = I_1 + I_2 + ... + I_n$;

– az áramkör szakaszának eredő ellenállása a következő képlettel számítható ki:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}.$$

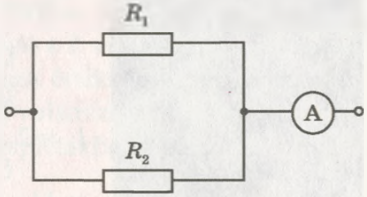
## Ellenőrző kérdések

**1.** Nevezzétek meg a párhuzamosan kapcsolt vezetőkből álló áramkör sajátosságait! **2.** Hasonlítsátok össze a párhuzamosan kapcsolt vezetőkből álló szakasz teljes feszültségét, az egyes vezetőkön mért feszültséggel! **3.** Milyen az összefüggés a főágban folyó áramerősség, valamint az egyes mellékágak áramerőssége között? **4.** Milyen képlettel lehet kiszámítani a néhány párhuzamosan kapcsolt vezetőből álló szakasz eredő ellenállását? **5.** Miért kapcsolják párhuzamosan a fogyasztókat a lakásokban?

## 14. gyakorlat.

**1.** Az áramkör akkumulátortelepből és három, párhuzamosan kapcsolt izzólámpából áll. Rajzoljatok egy olyan kapcsolási rajzot, amelyben két kapcsolót kell bekötni úgy, hogy az egyik kapcsoló két lámpát vezérel, a másik pedig csak a harmadikat!

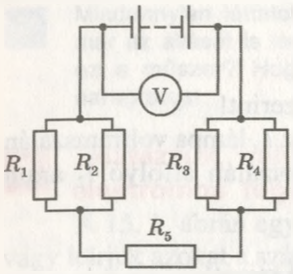
**2.** Az 1. ábrán az áramkör egy szakaszának kapcsolási rajza látható. Ismert, hogy az $R_1$ ellenállása 100 Ω, az $R_2$ pedig 150 Ω, az ampermérő 2,4 A-t mutat. Határozzátok meg a szakasz feszültségét!



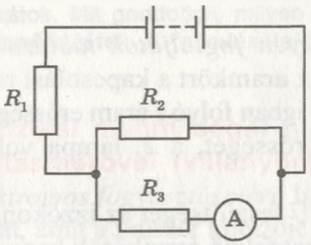
1. ábra

**3.** Két izzólámpát párhuzamosan kapcsoltak egymáshoz, majd egy 120 V feszültségű áramforráshoz kötötték. Határozzátok meg az áramerősséget mindegyik izzóban, valamint a főágban, ha az egyik izzó ellenállása 200 Ω, a másiké pedig 300 Ω!

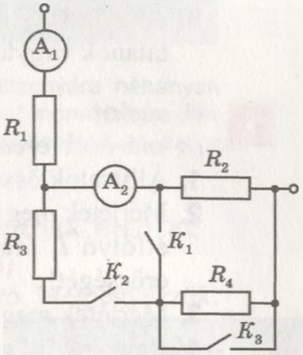
**4.** Azonos hosszúságú és keresztmetszetű vas, réz és ezüst vezetőket párhuzamosan kötöttek össze, majd áramforráshoz kapcsolták. Melyik vezetékben lesz a legnagyobb az áramerősség?




2. ábra




3. ábra




4. ábra

5. Határozzátok meg a kör eredő ellenállását és a főágban folyó áramerősséget (2. ábra), ha $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 3\ \Omega$, $R_3 = R_4 = 4\ \Omega$, $R_5 = 0{,}8\ \Omega$! A voltmérő 4 V-ot mutat.
6. Mivel egyenlő a kört tápláló áramforrás kapocsfeszültsége (3. ábra), ha $R_1 = 3\ \Omega$; $R_2 = 2\ \Omega$; $R_3 = 8\ \Omega$? Az ampermérő 0,1 A-t mutat.
7. Az áramkör szakaszán (4. ábra) mindegyik rezisztor ellenállása 5 Ω-mal egyenlő. A szakaszra állandó feszültséget kapcsoltak. Melyik kapcsolót kell zárni, hogy az $A_2$ műszer kisebb értéket mutasson, mint az $A_1$? Milyen áramerősséget fog mutatni az $A_1$ műszer, ha a $K_1$ kapcsolót zárjuk? Ismeretes, hogy az $A_2$ műszer 300 mA-t mutat, ha mindkét kapcsoló nyitva van.

## 7. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** Párhuzamosan kapcsolt vezetőkből álló áramkörök tanulmányozása.
**Cél:** kísérleti úton meggyőződni arról, hogy az áramerősség a kör főágában egyenlő az egyes mellékágakban folyó áramerősségek összegével; bebizonyítani, hogy a párhuzamosan kapcsolt vezetők eredő ellenállása kisebb az egyes vezetők ellenállásánál.
**Eszközök:** áramforrás, voltmérő, ampermérő, kapcsoló, két izzólámpa talpon, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

II

#### Előkészület a kísérlethez

1. Mielőtt hozzáfognátok a munkához, győződjetek meg arról, hogy ismeritek az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait.
2. Rajzoljátok le a két párhuzamosan kapcsolt izzóból, kapcsolóból és áramforrásból álló áramkör kapcsolási rajzát!

3. Állítsátok össze és írjátok le a kísérlet elvégzésének tervét! Ha bizonytalanok vagytok, használjátok az alábbi tervet.

### Kísérlet

*(A mérések eredményeit foglaljátok táblázatba!)*

1. Állítsatok össze az áramkört a kapcsolási rajz szerint!
2. Mérjétek meg a főágban folyó $I$ áram erősségét, az *1.* lámpa volfrámszálán átfolyó $I_1$ áram erősségét, a *2.* lámpa volfrámszálán átfolyó $I_2$ áram erősségét!
3. Mérjétek meg az $U$ feszültséget az izzókon!
4. Rajzoljátok le a megfelelő áramkörök kapcsolási rajzát!

### A kísérlet eredményeinek feldolgozása

A kísérlet eredményeinek felhasználásával számítsátok ki az *1.* ($R_1$) és a *2.* ($R_2$) izzólámpa ellenállását, valamint a két izzóból álló szakasz ($R$) eredő ellenállását! A kísérlet eredményét írjátok be a táblázatba!

| $I$, A | $I_1$, A | $I_2$, A | $U$, V | $R_1$, Ω | $R_2$, Ω | $R$, Ω |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

### A kísérlet és eredményeinek elemzése.

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Vonjatok le következtetést:

1) arról, hogy milyen egyenlőségeket ellenőriztetek, és milyen eredményeket kaptatok a párhuzamosan kapcsolt vezetőkre vonatkozóan;

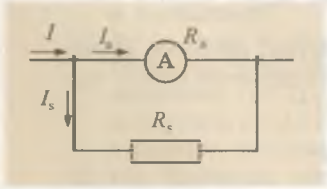
2) a mérések pontosságát befolyásoló tényezőkről!

### Alkotói feladat

Mielőtt elvégeznétek a feladatot, figyelmesen olvassátok el az elméleti tudnivalókat.

**Elméleti tudnivalók.** Az ampermérő méréshatára növelhető. Ehhez az ampermérővel párhuzamosan pótlólagos ellenállást kell kapcsolni, amit ebben az esetben *söntnek* nevezünk.

Ha söntöt alkalmazunk, az ampermérőn átmenő $I_a$ áramerősség egyenlő: $I_a = I - I_s$, ahol $I$ a mért áramerősség, $I_s$ a söntön átfolyó áram erőssége.




A sönt $R_s$ ellenállását az $R_s = \frac{R_a}{n-1}$ képlettel számíthatjuk ki, ahol $R_a$ az ampermérő ellenállása; $n = \frac{I}{I_a}$ együttható, ami azt mutatja, hányszorosára nő az áramerősség mérésének felső határa, vagyis hányszor lesz nagyobb skálájának beosztásértéke.

**Feladat.** Oldjátok meg a feladatot! Az eredményeket ellenőrizzétek kísérleti úton!

Az iskolai ampermérő $R_a$ ellenállása 0,07 Ω, skálájának beosztásértéke 0,05 A, a méréshatára pedig 2 A. Az ampermérővel 10 A erősségű áramot szeretnének mérni. Mekkora ellenállású söntöt kell párhuzamosan az ampermérőhöz kapcsolni? Mennyi lesz az ampermérő skálájának a beosztásértéke?

# 15. §. AZ ELEKTROMOS ÁRAM TELJESÍTMÉNYE ÉS MUNKÁJA

?! Mindannyian láttatok már elektromos fogyasztásmérőt. Bizonyára néhányan már az állását is leolvastátok. Mit gondoltok, milyen fizikai mennyiséget mér ez a műszer? Hogy ellenőrizzétek a feltevéseteket, olvassátok el ezt a paragrafust.

## 1 Tisztázzuk, milyen fizikai mennyiséget határoznak meg az elektromos fogyasztásmérővel (villanyórával)

A 15. 1. ábrán egy *elektromos fogyasztásmérő* látható. Megjegyezzük, vagy leírjuk azokat a számokat, amit a műszer kijelzője mutat (15. 1. *a* ábra), másként fogalmazva, *leolvassuk a villanyóra állását*. Mit jelentenek ezek a számok? Nyilvánvaló, hogy ez valamilyen fizikai mennyiség számértéke. De vajon melyiké?

Először is meghatározzuk ennek a mennyiségnek a mértékegységét. A kijelzőn a számok mellett kW · h feliratot láthatunk. Ismeretes, hogy 1 kW = 1000 W és 1 h = 3600 s, 1 W = $1\frac{\text{J}}{\text{s}}$. Tehát 1 kW · h = $1000\frac{\text{J}}{\text{s}}$ × × 3600 s = 3 600 000 J, vagyis 1 kW · h = $3{,}6 \cdot 10^6$ J. Az egyik fizikai mennyiség, amit joule-ban mérnek, a munka. Feltételezhetjük tehát, hogy a villanyórával az *áram munkáját* mérjük. Hogy erről meggyőződjünk, a villanyóra áramkörébe elektromos hősugárzót kapcsolunk. Egy idő elteltével újra leolvasva a műszer állását (15. 1. *b* ábra), azt látjuk, hogy többet mutat. A hősugárzó spirálján áthaladó elektromos áram munkát végzett, amit a villanyóra segítségével rögzítettünk. Tehát a *villanyóra az áram munkájának direkt mérésére szolgáló műszer.*

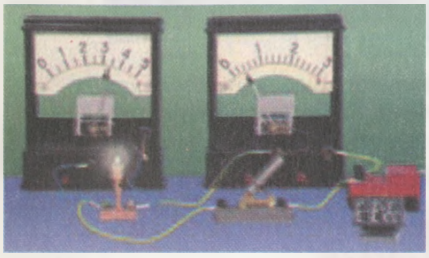
**15. 1. ábra.** A villanyóra leolvasása: *a* kiinduló adat (382 kW·h); *b* a villanyóra állása az elektromos hősugárzó bizonyos ideig való működését követően (385 kW·h). Az elfogyasztott elektromos energiamennyiség: 385 – 382 = 3 (kW·h)

A munka egységének árát *tarifának* nevezik. 2009. január elsején a fogyasztók egy meghatározott kategóriája számára a tarifa 24,36 kopijka volt az elhasznált 1 kWh-ért.

## 2 Kiszámítjuk az áram munkáját

Tisztázzuk, kiszámítható-e az áram munkája másként, a villanyóra segítsége nélkül.

A tankönyv 10. §-ának tanulmányozása során tisztáztátok, hogy az $U$ elektromos feszültség az áramkör kapcsain az $U = \frac{A}{q}$ képlettel számítható ki. Tehát az áram $q$ töltés elmozdítására végzett munkája az $A = Uq$ képlettel határozható meg. A $q$ töltést az $I$ áramerősséggel, valamint az áthaladás idejének segítségével kifejezve:



**15. 2. ábra.** Az áram munkájának mérésére alkalmasak az általatok már jól ismert műszerek: az ampermérő, a voltmérő és a stopperóra

*$q = It$, megkapjuk az elektromos áramnak az áramkör szakaszán végzett munkáját kifejező képletet:*

$$A = UIt.$$

Tehát ahhoz, hogy meghatározzuk azt a munkát, amit az áram egy bizonyos fogyasztón (az áramkör adott szakaszán) végez, elegendő megmérni a fogyasztón átfolyó áramerősséget, végpontjain a feszültséget, valamint a töltés áthaladásának időtartamát (15. 2. ábra). Már tudjátok, hogy az ilyen méréseket *közvetetteknek* nevezzük.

Figyeljétek meg, hogy az elektromos áram munkájának képletéből következik: 1 J = 1 V · 1 A · 1 s, ez az összefüggés még hasznos lehet, amikor a mértékegységet kell ellenőrizni a feladatok megoldásakor.

## 3 Kiszámítjuk az áram teljesítményét

**Az elektromos áram teljesítménye** az áram munkavégzésének sebességét jellemző fizikai mennyiség, amely egyenlő az áram $A$ munkavégzésének és az erre fordított időnek a hányadosával:

$$P = \frac{A}{t},$$

ahol $P$ az elektromos áram teljesítménye.

Mivel $A = UIt$, ezért

$$P = UI.$$

*A teljesítmény SI-rendszerbeli egysége* a **watt** ($1\ \text{W} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{s}}$).

Az elektromos áram kiszámítására szolgáló képletből következik, hogy 1 W = 1 V · 1 A = 1 V · A.

1 W az 1 A *erősségű áram teljesítménye az áramkör* 1 V *feszültségű szakaszán.*

A watt aránylag kis teljesítményegység. A gyakorlatban gyakrabban használják a többszöröseit: a *kilowattot* (1 kW = $10^3$ W), a *megawattot* (1 MW = $10^6$ W), a *gigawattot* (1GW = $10^9$ W).

## 4 Megkülönböztetjük a fogyasztók névleges és tényleges teljesítményét

Az áram teljesítményének kiszámítására szolgáló képletet vizsgálva ($P = UI$) láthatjuk, hogy az áram teljesítményét ampermérő és voltmérő segítségével lehet kiszámítani (összeszorozva a műszerekkel megállapított feszültséget és az áramerősséget).

Léteznek műszerek az elektromos áram teljesítményének *közvetlen* (direkt) mérésére. Ezek a *wattmérők*. A wattmérőket párhuzamosan kapcsolják ahhoz a fogyasztóhoz, amelyben mérni kell az áram teljesítményét.

Az áram teljesítményét mérve a fogyasztóban a *tényleges teljesítményét* mérjük.

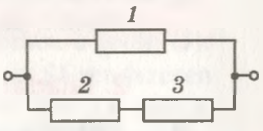
Az elektromos készülék kezelési útmutatójában (vagy magán a készüléken) feltüntetett teljesítményt *névleges teljesítménynek* nevezzük. Rendszerint nem csupán a készülék névleges teljesítményét tüntetik fel, de azt a feszültséget is, amire a készüléket méretezték. Azonban a hálózati feszültség kissé ingadozhat, ha megnő, akkor az áramerősség is megnő. Ennek a két mennyiségnek a növekedése az áram teljesítményének növekedéséhez vezet a fogyasztóban. Vagyis *a fogyasztó tényleges és névleges teljesítménye eltérhet egymástól.*

Ha a kör több fogyasztóból áll, akkor a tényleges fogyasztásának kiszámításakor emlékezni kell arra, hogy *a fogyasztók bármilyen bekötése esetén az áram összteljesítménye a teljes körben egyenlő az egyes fogyasztók teljesítményének összegével.*

Végezetül újra a 15. 1. ábrához fordulunk. A villanyórán még két fizikai mennyiség szerepel: 220 V; 15 A. Az első azt mutatja, milyen feszültségű áramkörbe kell bekapcsolni a fogyasztásmérőt, a második pedig azt a megengedett maximális áramerősséget, amely a műszeren áthaladhat. Összeszorozva ezeket az értékeket, megkapjuk *az ezen a mérőeszközön keresztül a hálózathoz csatlakoztatható fogyasztók legnagyobb megengedett fogyasztását (UI = P).*

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**1. feladat.** Az áramkör szakasza három egyforma ellenállásból tevődik össze (l. az ábrát). Határozzátok meg a rezisztorok összteljesítményét, ha ellenállásuk egyenként 5 Ω, a szakasz végpontjain mért feszültség pedig 10 V!




Adott:

$R_1 = R_2 = R_3 = 5\ \Omega$

$U = 10\ \text{V}$

$P - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

A feladat kétféleképpen is megoldható:

1) kiszámítjuk az ellenállások teljesítményét külön-külön, majd az összteljesítményüket;

2) kiszámítjuk a szakaszon átfolyó áram erősségét és a feszültség ismeretében kiszámítjuk a rezisztorok összteljesítményét.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

1. módszer

Mivel az áramkör szakaszának a *2.* és *3.* ellenállást tartalmazó része párhuzamosan kapcsolódik az *1.* ellenálláshoz, ezért

$U_1 = U_{2,3} = U = 10$ V. Ohm törvénye szerint $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10\ \text{V}}{5\ \Omega} = 2\ \text{A}$.

A teljesítmény kiszámítására szolgáló képletnek megfelelően:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10\ \text{V} \cdot 2\ \text{A} = 20\ \text{W}.$$

Mivel a *2.* és a *3.* ellenállás sorosan kapcsolt, ezért

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5\ \Omega + 5\ \Omega = 10\ \Omega.\ I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10\ \text{V}}{10\ \Omega} = 1\ \text{A}.$$

$$U_2 = I_2 R_2 = 1\ \text{A} \cdot 5\ \Omega = 5\ \text{V},\ P_2 = U_2 I_2 = 5\ \text{V} \cdot 1\ \text{A} = 5\ \text{W}.$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1\ \text{A} \cdot 5\ \Omega = 5\ \text{V},\ P_3 = U_3 I_3 = 5\ \text{V} \cdot 1\ \text{A} = 5\ \text{W}.$$

Tehát $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20\ \text{W} + 5\ \text{W} + 5\ \text{W} = 30\ \text{W}$.

2. módszer

Előbb meghatározzuk az áramkör szakaszának $R$ eredő ellenállását.

Mivel a *2.* és *3.* ellenállás sorosan kapcsolt, ezért

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5\ \Omega + 5\ \Omega = 10\ \Omega.$$

Mivel az áramkör szakaszának *2.* és *3.* ellenállást tartalmazó része párhuzamosan kapcsolódik az *1.* ellenálláshoz, ezért

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10\ \Omega} + \frac{1}{5\ \Omega} = \frac{3}{10\ \Omega}\ \frac{1}{\Omega};\ \text{tehát}\ R = \frac{10}{3}\ \Omega.$$

Ohm törvényének megfelelően: $I = \frac{U}{R} = 10\ \text{V} : \frac{10}{3}\ \Omega = 3\ \text{A}$.

A teljesítmény kiszámítására szolgáló képletnek megfelelően:

$$P = UI = 10\ \text{V} \cdot 3\ \text{A} = 30\ \text{W}.$$

Elemezzük az eredményt: más-más módszerrel megoldva a feladatot, ugyanolyan teljesítményértéket kaptunk, tehát a megoldás helyes.

*Felelet:* az ellenállások összteljesítménye 30 W.

**2. feladat.** Határozzátok meg a villanymozdony motorjának hatásfokát, ha $16\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ sebességgel egyenletesen haladva 300 kN húzóerőt fejt ki. A hálózati feszültség 3 kV, a motor által használt áram erőssége 2 kA.

Adva:

$v = 16\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$F = 3 \cdot 10^5\ \text{N}$

$U = 3 \cdot 10^3\ \text{V}$

$I = 2 \cdot 10^3\ \text{A}$

$\eta - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

A feladat megoldásához tisztázni kell, az elektromotor tekercsén áthaladó áram által végzett munka mekkora részét képezi a hasznos munka (a villanymozdony elmozdítására fordított mechanikai munka). Felhasználva a mechanikai munka és az áram munkájának képletét, meghatározzuk a keresett mennyiséget.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

A hatásfokot a következő képlet alapján számítjuk ki:

$$\eta = \frac{A_h}{A_t}, \qquad (1)$$

ahol $A_h$ a villanymozdony $s$ távolságra való elmozdítására fordított munka; $A_h = Fs$.

Az $s$ távolságot a sebesség kifejezéséből találjuk meg:

$$v = \frac{s}{t}; \text{ innen } s = vt.$$

Tehát:

$$A_h = Fvt. \quad (2)$$

Az áram munkája a villanymozdony motorjában:

$$A_t = UIt. \quad (3)$$

A (2) és a (3) képletet behelyettesítve az (1) képletbe:

$$\eta = \frac{Fvt}{UIt} = \frac{Fv}{UI}.$$

Meghatározzuk a keresett kifejezés értékét:

$$[\eta] = \frac{\mathrm{N} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{A}} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{V} \cdot \mathrm{A} \cdot \mathrm{s}} = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{W}} = 1;$$

$$\{\eta\} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0{,}8; \quad \eta = 80\%.$$

Elemezzük az eredményt: a hatásfok egyenlő 80%-kal, ami a villanymotorokra nézve reális eredmény.

*Felelet:* a villanymozdony motorjának hatásfoka 80%.

## Összegzés

Az áramkör szakaszán az elektromos áram munkát végez, aminek értéke egyenlő a feszültségnek, az áramerősségnek és a töltés körön való áthaladási idejének a szorzatával: $A = UIt$.

Az elektromos áram munkájának egysége az SI-rendszerben a joule (J): 1 J = 1 V · A · s. Az elektrotechnikában az áram munkájának az SI-rendszeren kívüli mértékegységét használják – a kilowatt-órát (kW · h); 1 kW · h = 3,6 · $10^6$ J.

Az áram munkáját közvetlenül mérő műszereket fogyasztásmérőknek nevezik.

Az áram munkavégzésének sebességét jellemző fizikai mennyiséget az elektromos áram teljesítményének nevezzük. Az elektromos áram teljesítményét a $P = UI$ képlet segítségével számítjuk ki. Az elektromos áram teljesítményének mértékegysége az SI-rendszerben a watt (W): $1\ \mathrm{W} = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = 1\ \mathrm{V} \cdot \mathrm{A}$.

Azt a teljesítményt, amire az elektromos műszert méretezték, névleges teljesítménynek nevezzük. A névleges teljesítményt általában feltüntetik a készülék kezelési útmutatójában. Az áram valós teljesítményét a készülékben tényleges teljesítménynek nevezzük.

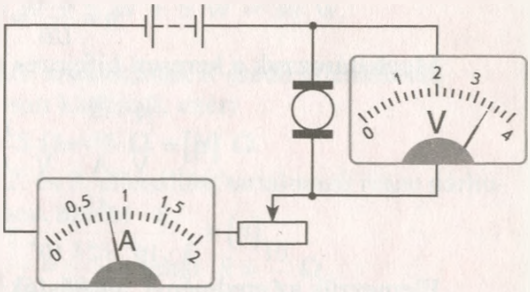
## Ellenőrző kérdések

**1.** Milyen képlettel számítják ki az elektromos áram munkáját? **2.** Nevezzétek meg az elektromos áram munkájának mértékegységeit! **3.** Bizonyítsátok be, hogy 1 kW · h = 3,6 · $10^6$ J! **4.** Hogyan mérik az elektromos áram munkáját? **5.** Mit nevezünk az elektromos áram teljesítményének? **6.** Melyik képlettel számítható ki az áram teljesítménye? **7.** Mit nevezünk az elektromos készülék névleges teljesítményének? **8.** Mi a készülék tényleges teljesítménye?

## 15. gyakorlat

1. A villanyóra számlálója alapján (1. ábra), határozzátok meg a felhasznált elektromos energia mennyiségét, és számítsátok ki az árát, ha a tarifa 24,36 kopijka egy kW·h áramért!
2. Bizonyítsátok be, hogy 1 J = 1 V · A · s!
3. A 2. ábrán látható műszerek állása alapján határozzátok meg azt a munkát, amit az áram végzett a villanymotor 15 perces működése során!
4. Két, egyenként 10, illetve 25 Ω ellenállású vezetőt 100 V feszültségű hálózatba kapcsoltak. Mekkora munkát végez az elektromos áram a vezetők mindegyikében 5 perc alatt, ha: a) párhuzamosan; b) sorosan kötjük be őket a körbe?

1. ábra




2. ábra

5. Két, egyenként 90, illetve 40 W teljesítményű izzólámpát párhuzamosan kapcsoltak a 220 V feszültségű hálózatba. Határozzátok meg az egyes izzókon átfolyó áram erősségét, illetve az izzók ellenállását!
6. Határozzátok meg annak az áramnak az erejét, amit az emelődaru villanymotorja fogyaszt, miközben az 1 tonna tömegű terhet 50 s alatt 19 m magasba emeli? A villanymotor hatásfoka 80%, a kapocsfeszültség 380 V.
7*. A 127 V feszültségre méretezett izzólámpa teljesítménye 50 W. Mekkora pótellenállást kell a lámpához kapcsolni, hogy használhassák a 220 V-os hálózatban?
8*. Két, azonos ellenállású fűtőszállal rendelkező főzőlapot előbb sorosan, majd párhuzamosan kapcsoltak a hálózatba. Melyik esetben és hányszor fogyasztottak több áramot a készülékek?

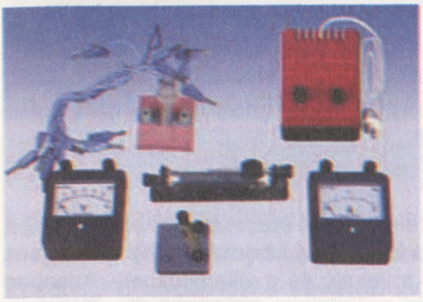
## Kísérleti feladat

1. Kérdezzétek meg a szüleitektől, mennyibe kerül 1 kW · h elektromos energia a háztartásotokban! Tudjátok meg, mekkora a teljesítménye az általatok használt különböző fogyasztóknak! Számítsátok ki az egyes készülékek által 20 perc alatt elfogyasztott elektromos energia árát! Töltsétek ki a táblázatot!

| A mérés sorszáma | A készülék neve | Teljesítmény $P$, W | Az áram munkája, $A$ | | Ár, hrivnya |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | J | kW · h | |
| | | | | | |

2. Egy hétig figyeljétek a háztartásotok energiafogyasztását. Ehhez minden nap ugyanabban az időben jegyezzétek fel a villanyóra állását és számítsátok ki, mennyi elektromos energiát fogyasztott a családotok egy nap alatt. A mérések és számítások eredményei alapján rajzoljátok meg az energiafogyasztás grafikonját az adott hétre!
   Válaszoljatok a következő kérdésekre!
   1) A hét melyik napján volt a legnagyobb az áramfogyasztás? Miért?
   2) Előfordult-e, hogy a fogyasztók fölöslegesen voltak bekapcsolva?
   3) Hogyan takarékoskodhat családotok az elektromos energiafogyasztással?

## 8. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA



**Téma.** Az elektromos fogyasztó teljesítményének meghatározása.
**Cél:** elsajátítani az izzólámpa tényleges és névleges teljesítményének meghatározását.
**Eszközök:** áramforrás, amperméró, voltmérő, izzólámpa talpon, kapcsoló, reosztát, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Előkészület a kísérlethez

1. Mielőtt nekifognátok a munkának, győződjetek meg arról, hogy ismeritek:
   1) az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait;
   2) a teljesítmény kiszámítására szolgáló képletet.
2. Határozzátok meg a mérőműszerek skálabeosztásának értékét!
3. Készítsétek el annak az áramkörnek a kapcsolási rajzát, amely egymással sorosan kötött áramforrásból, kapcsolóból, izzólámpából, amperméróből, reosztátból és az izzólámpához párhuzamosan kapcsolt voltmérőből áll.

#### Kísérlet

(*A mérések eredményeit foglaljátok táblázatba!*)

1. Állítsatok össze áramkört a vázlatrajz alapján!
2. Mozdítsátok el néhányszor a reosztát csúszkáját, és mérjétek meg minden alkalommal a lámpán átfolyó áramerősséget és kapcsain a feszültséget!

#### A mérés eredményeinek feldolgozása

1. Minden kísérlet után számítsátok ki a lámpa tényleges teljesítményét!
2. Olvassátok le a lámpatestről a lámpa nominális teljesítményét!
3. A megfigyelési és mérési eredményeket foglaljátok táblázatba!

| A kísérlet sorszáma | Áramerősség $I$, A | Feszültség $U$, V | A lámpa teljesítménye, W | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Tényleges $P_t$ | Nominális $P_n$ |
| | | | | |

#### A kísérlet eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és a kapott eredményeket! Vonjatok le következtetést, amiben beszámoltok arról, hogy hogyan végeztétek el, és mit állapítottatok meg a kísérlet során! Adjatok magyarázatot a lámpa nominális és tényleges teljesítményének esetleges eltérésére! Mikor és miért volt a legnagyobb eltérés e két mennyiség között?

**Alkotói feladat**

Két izzólámpát kössetek először sorosan, majd párhuzamosan! Melyik esetben lesz a lámpák teljesítménye nagyobb? Ellenőrizzétek kísérletileg! Készítsetek kapcsolási rajzot!

## 16. §. AZ ÁRAM HŐHATÁSA. JOULE–LENZ TÖRVÉNYE

?! Saját tapasztalatból tudjátok, hogy amikor az elektromos áram áthalad az izzólámpa spiráljén, az annyira felmelegszik, hogy látható fényt kezd kibocsátani. Az elektromos áram hatásának köszönhetően melegszik fel a vasaló és a villanytűzhely. Azonban a ventillátor és a porszívó csak jelentéktelen mértékben melegszik fel, akárcsak (persze, ha minden rendben van) a hálózati vezetékek. Ebből a paragrafusból megtudjátok, mitől függ az áram hőhatása.

### 1 Az áram hőhatásáról elmélkedünk

Már szó esett arról, hogy az áramot mindig hő képződése kíséri. Ezt a tényt nem nehéz megmagyarázni.

Amikor a vezetéken áram halad át, a szabad töltéshordozók az elektromos tér hatására irányított mozgást végeznek, mialatt más részecskékkel ütköznek (az elektronok a fémekben a rácspontokban elhelyezkedő ionokkal, az elektrolit ionjai pedig más ionokkal, atomokkal vagy molekulákkal) miközben átadják energiájuk egy részét. Ennek eredményeként a részecskék kaotikus (hő) mozgásának átlagsebessége megnő, vagyis a vezető felmelegszik. Az energia-megmaradás törvénye szerint a szabad töltéshordozóknak – az elektromos tértől kapott – kinetikus energiája átalakul belső energiává.

**16. 1. ábra.** James Prescott Joule (1818–1889) angol fizikus, a hőjelenségek modern elméletének egyik megalapozója. 1841-ben fedezte fel, hogy hogyan függ az áramjárta vezetőben keletkező hőmennyiség az áramerősségtől és a vezető ellenállásától

Nyilvánvaló, hogy minél gyakrabban ütköznek a részecskék, vagyis minél nagyobb a vezető ellenállása, annál több energia adódik át a vezetőnek és az annál jobban felmelegszik. Tehát feltételezhetjük, hogy *a vezetőben az áram hatására keletkezett hőmennyiség arányos a vezető ellenállásával.*

Könnyen belátható, hogy *az áramerősség növelésével nő a vezetőben keletkező hőmennyiség.* Ugyanis minél több részecske halad át a vezető keresztmetszetén egységnyi idő alatt, annál többször ütköznek a részecskék.

### 2 Megismerkedünk Joule–Lenz törvényével

Az áram hőhatását kísérleti úton az angol *J. Joule* (16. 1. ábra) és az orosz *E. H. Lenz* (16. 2. ábra) tanulmányozta. Egymástól függetlenül ugyanarra a következtetésre jutottak, ami később a tiszteletükre a Joule-Lenz törvény nevet kapta.

Abban az időben a törvényt kísérleti úton fedezték fel. Most, ismerve az áram munkájának képletét ($A = UIt$), egyszerű matematikai okfejtéssel is kivezethető a Joule–Lenz-törvény.

Ha az áramkörben folyó áram nem végez mechanikai munkát és nem mennek végbe kémiai reakciók, akkor az áram munkája csak a vezető felmelegítéséhez vezet. A felmelegedett vezető a hőátadás révén átadja a kapott energiát a környező testeknek. Tehát, az energiamegmaradás törvénye szerint ebben az esetben a keletkezett $Q$ hőmennyiség egyenlő az áram $A$ munkájával: $Q = A$.

Mivel $A = UIt$ és $U = IR$, ezért:

$$Q = UIt = IRIt = I^2Rt.$$

Most megfogalmazhatjuk **Joule–Lenz törvényét:**

Az áramjárta vezetőben keletkezett hőmennyiség egyenesen arányos az áramerősség négyzetével, a vezető ellenállásával és az áram áthaladásának az idejével:

$$Q = I^2Rt.$$

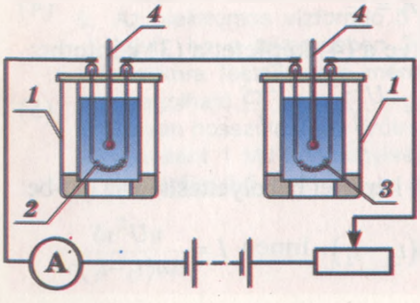
**16. 2. ábra.** Emil Hrisztianovics Lenz (1804–1865) orosz fizikus, a Szentpétervári egyetem professzora. 1842-ben J. Joule-tól függetlenül felfedezte az elektromos áram hőhatásának törvényét

Joule–Lenz törvényének matematikai kifejezéséhez néhány feltevéssel éltünk, ám amint a további kísérletekből kiderült, *az áramkör szakaszán átmenő áram által a vezetőnek juttatott hőmennyiség mindig meghatározható a* $Q = I^2Rt$ *képlettel.*

A 16. 3. ábrán a Joule–Lenz törvényt igazoló kísérlet rajza látható. Próbáljátok meg önállóan leírni ezt a kísérletet.

## 3 A hőmennyiség kiszámításának néhány sajátossága

Felmerül a kérdés: mi a teendő, ha ismeretlen az áramerősség, de ismert az adott szakasz végpontjai közötti feszültség? Úgy tűnik, alkalmazható az




**16. 3. ábra.** A Joule–Lenz törvényt igazoló kísérlet vázlata: *1* azonos mennyiségű vizet tartalmazó kaloriméterek; *2*, *3* elektromos melegítők (a *2*. sz. melegítő ellenállása kétszer nagyobb a *3*.-nál); *4* hőmérők

Ohm-törvény. Valóban $Q = I^2Rt$, és $I = \frac{U}{R}$. Akkor $Q = \left(\frac{U}{R}\right)^2 Rt = \frac{U^2}{R^2} Rt$. Az $R$-rel való egyszerűsítést követően:

$$Q = \frac{U^2 t}{R}.$$

Azonban a $Q = UIt$ képlethez hasonlóan ez a képlet is *csak akkor használható, ha a teljes elektromos energiamennyiség a melegítésre fordítódik.*

*Ha az áramkör szakaszán olyan fogyasztók is vannak, amelyekben mechanikai munkavégzés történik, vagy kémiai reakciók mennek végbe, akkor a* $Q = \frac{U^2 t}{R}$ *és a* $Q = UIt$ ***képlet nem alkalmazható***. Ezekben az esetekben bonyolult matematikai kifejezéseket alkalmaznak, amelyekben a teljes jelenségrendszert figyelembe veszik.

## 4 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Milyen hosszú nikróm drótra van szükség egy olyan vízforraló elkészítéséhez, amely képes 5 perc alatt 1,5 kg 20 °C hőmérsékletű vizet forráspontjáig hevíteni? A drót keresztmetszete 0,1 mm$^2$. A hálózati feszültség 220 V, a forraló hatásfoka 90%.

Adott:

$\tau = 300$ s

$m = 1{,}5$ kg

$t_1 = 20$ °C

$t_2 = 100$ °C

$S = 0{,}1$ mm$^2$

$U = 220$ V

$\eta = 0{,}9$

$\rho = 1{,}1 \ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$

$c = 4200 \ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$

$l$ – ?

*A fizikai probléma elemzése*

Amikor a forralón elektromos áram megy át, $Q_{teljes}$ hőmennyiség keletkezik. Egy része ($Q_{hasz}$) a víz melegítésére fordítódik. Tehát, $\eta \, Q_{teljes} = Q_{hasz}$.

A $Q_{teljes}$ és a $Q_{hasz}$ mennyiségeket a feltételben magadott adatok segítségével kifejezve, megkapjuk a keresett mennyiséget.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

$$\eta \, Q_{teljes} = Q_{hasz}. \quad (1)$$

$$Q_{hasz} = cm(t_2 - t_1); \quad (2)$$

$$Q_{teljes} = \frac{U^2 \tau}{R}. \quad (3)$$

A vezeték ellenállását az alábbi kifejezésből határozzuk meg:

$$R = \frac{\rho l}{S}. \quad (4)$$

Behelyettesítve a (4) képletet a (3) képletbe:

$$Q_{teljes} = \frac{U^2 \tau}{\frac{\rho l}{S}} = \frac{U^2 \tau S}{\rho l}. \quad (5)$$

Az (5) és a (2) képletet behelyettesítve az (1)-be:

$\frac{\eta U^2 \tau S}{\rho l} = cm(t_2 - t_1)$. Innen $l = \frac{\eta U^2 \tau S}{cm(t_2 - t_1)\rho}$.

A nikróm ρ fajlagos ellenállását és a víz fajhőjét megtaláljuk a megfelelő táblázatokban.

Meghatározzuk a keresett mennyiség mértékegységét és mérőszámát:

$$[l] = \frac{V^2 \cdot s \cdot mm^2}{\frac{J}{kg \cdot °C} \cdot kg \cdot °C \cdot \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}} = \frac{V^2 \cdot s \cdot m}{J \cdot \Omega} = \frac{V^2 \cdot s \cdot m}{V \cdot A \cdot s \cdot \frac{V}{A}} = m;$$

$$\{l\} = \frac{0{,}9 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 300 \cdot 0{,}1}{4200 \cdot 1{,}5 \cdot 80 \cdot 1{,}1} = 2{,}36; \quad l = 2{,}36 \text{ m}.$$

*Felelet:* 2,36 m hosszú nikróm drótra van szükség.

## Összegzés

Az áram áthaladását a vezetőben hőkiválás kíséri. Az áramjárta vezetőben keletkező hőmennyiség egyenesen arányos az áramerősség négyzetével, a vezető ellenállásával és az áram áthaladásának időtartamával: $Q = I^2Rt$ (Joule–Lenz törvénye).

Létezik még két másik képlet a hőmennyiség kiszámítására: $Q = \frac{U^2t}{R}$ és $Q = UIt$, ám ezeket a képleteket csak abban az esetben lehet használni, ha a teljes elektromos energia melegítésre fordítódik.

## Ellenőrző kérdések

1. Miért melegszenek fel az áramjárta vezetők? 2. Fogalmazzátok meg Joule–Lenz törvényét! Miért kapta ezt a nevet? 3. Mi a matematikai alakja Joule–Lenz törvényének? 4. Milyen képleteket ismertek az áramjárta vezetőben keletkező hőmennyiség kiszámítására? Alkalmazhatók-e ezek a képletek minden esetben?

## 16. gyakorlat

1. Miért nem melegszenek fel azok a vezetők, amelyek eljuttatják az áramot az izzólámpához, az izzószál viszont felmelegszik és fényesen világít?
2. Mekkora hőmennyiség válik ki 10 perc alatt a hálózatba kapcsolt villanysütőben, ha a fűtőszál ellenállása 30 Ω, az áramerősség pedig 4 A?
3. Két, egyenként 10, illetve 20 Ω-os vezetőt 100 V feszültségű hálózatba kapcsoltak. Mennyi hő szabadul fel bennük 5 s alatt, ha párhuzamosan kapcsolják össze őket?
4. Mennyi idő alatt melegszik fel 1,5 l víz 20-ról 100 °C-ra a 600 Ω teljesítményű teafőzőben, ha a hatásfoka 80%?
5. Az elektromos vízforraló 5 perc alatt 0,2 kg vizet 14 °C-ról forráspontig hevít, ha a tekercsében 2 A erősségű áram folyik. Határozzátok meg, mekkora feszültségre méretezték a forralót! Az energiaveszteség elhanyagolható.

6*. Milyen hosszú nikróm drótra van szükség egy 120 V feszültségen működő, óránként 1 MJ hőmennyiséget termelő hősugárzó elkészítéséhez? A drót átmérője 0,5 mm.

# 17. §. ELEKTROMOS MELEGÍTŐK. BIZTOSÍTÉKOK

A statisztika kompromisszummentes tudomány. A statisztikai adatok pedig azt mutatják, hogy a tűzesetek kialakulásának a tűzzel való felelőtlen bánásmódot követő második leggyakoribb oka az elektromos vezeték rövidzárlat miatti kigyulladása. Mi a rövidzárlat és hogyan előzhető meg a vezetékek kigyulladása, ha mégis bekövetkezett a rövidzárlat, megtudjátok ebből a paragrafusból.

## 1 Tanulmányozzuk az elektromos melegítőkészülékeket

Az elektromos melegítőket széleskörűen használják a mezőgazdaságban (17. 1. ábra), a közlekedésben, a háztartásokban. A sokféle külső ellenére mindegyik, a gyakorlatban használt elektromos melegítő rendelkezik néhány közös jellemzővel.

**17. 1. ábra.** Az inkubátorok működése az áram hőhatásán alapul

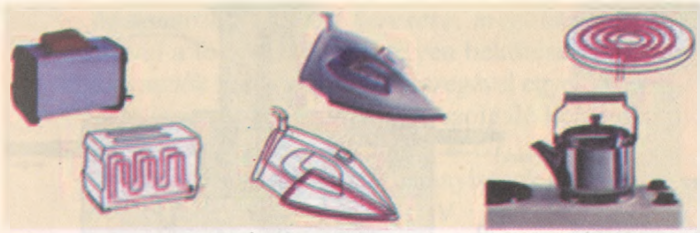
Először is, *minden elektromos melegítő működése az áram hőhatásán alapul*, vagyis az ilyen készülékekben az elektromos áram energiája a melegítő belső energiájává alakul, ami hőátadás útján leadja az energiáját a környezetnek (17. 2. ábra).

Másodszor, bármelyik elektromos melegítőkészülék fő része *a fűtőelem*, ami felmelegszik, ha áram halad át rajta (17. 3. ábra). A fűtőelemeknek igen magas hőmérsékletre történő hevítést is ki kell bírniuk, ezért *olyan anyagokból készülnek, amelyek csak nehezen olvadnak meg, más szóval magas az olvadáspontjuk* (17. 4. ábra). Az áramütés elkerülésére *a fűtőelemet elszigetelik a melegítőkészülék burkolatától.*

**17. 2. ábra.** A hőleadás növelése céljából a melegítőkészülék felületét bordás alakúra alakítják, a villanytűzhely melegítőfelületét pedig sötét fémből készítik

A Joule–Lenz-törvény értelmében a fűtőelemen kiváló $Q$ hőmennyiség: $Q = I^2Rt$, vagyis az áramerősség változtatásával *szabályozható a melegítő hőmérséklete* (17. 5. ábra).

A csatlakozóvezetékek és a fűtőelem sorosan vannak kapcsolva, tehát bennük az áramerősség azonos. Ahhoz, hogy a csatlakozóvezetékek sokkal kevésbé melegedjenek, mint a fűtőelem, ez utóbbi ellenállásának többszörösen meg kell haladnia a vezetékekét. Ezért *a fűtőelemeket általában magas fajlagos ellenállású anyagokból készítik.*



**17. 3. ábra.** Minden elektromos melegítőkészülék fő része a fűtőelem

**17. 4. ábra.** Az izzólámpa fűtőelemét volfrámból készítik, aminek az olvadáspontja 3387 °C. Miután a hőmérséklet elérte a 3000 °C-ot, a vékony volfrámszál fényesen világítani kezd

## 2 Tisztázzuk az áramerősség hirtelen megnövekedésének az okát

A csatlakozóvezetékek ellenállása elég kicsi, azonban az áramerősség jelentős növekedésekor olyannyira felmelegedhetnek, hogy tüzet okozhatnak.

Tisztázzuk, mi lehet az oka a hirtelen áramerősség-növekedésnek egy átlagos lakásban. Felidézzük Ohm törvényét: $I = \frac{U}{R}$. Mivel a hálózati feszültség állandó, az áramerősség csakis a kör eredő ellenállásának csökkenése révén lehetséges. Tudjuk, hogy a fogyasztók párhuzamosan kapcsolódnak a körbe, ezért, ha egyszerre több nagyteljesítményű készüléket kapcsolunk be, a kör eredő ellenállása jelentősen lecsökken, ennek megfelelően az áramerősség nagymértékben megnő a körben. Ilyenkor túlterhelésről beszélünk.

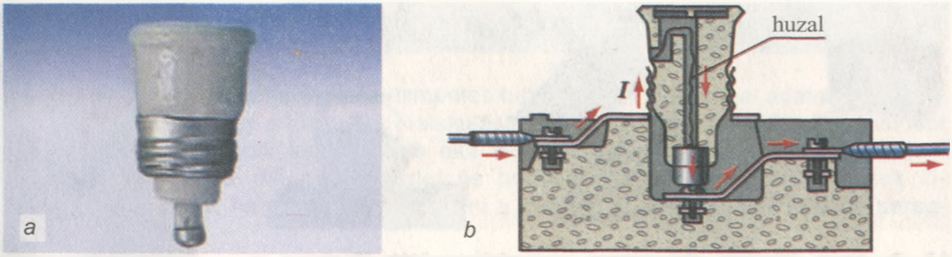
Hirtelen megnő a körben az áramerősség *rövidzárlat* esetében is, vagyis ha a vezetékek közvetlen érintkezésbe kerülnek a fogyasztó és az áramforrás között. Rövidzárlat alakulhat ki például a vezetékek szigetelésének megsérülésekor, vagy akkor, ha a fogyasztót feszültség alatt javítják. (Felhívjuk a figyelmet arra, hogy ez életveszélyes!)

**17. 5. ábra.** Kezelőgombjának elforgatásával egy adott hőmérséklet üzemmódba állítjuk a vasalót

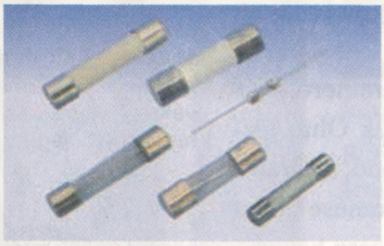
## 3 Alkalmazzunk biztosítókat!

Ahhoz, hogy elkerüljék a rövidzárlat vagy túlterhelés miatti hirtelen áramerősség-növekedést és ezzel a tűz kialakulását, biztosítókat használnak. A *biztosítók* olyan készülékek, amelyek megszakítják az áramkört, ha az áramerősség a megengedett érték fölé emelkedik (17. 6. – 17. 8. ábra).

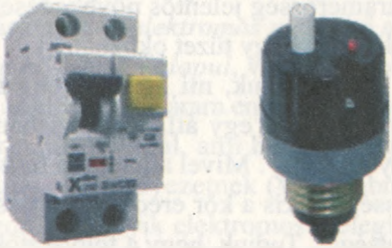
**Figyelem!** *Nagyon veszélyes a hibás vagy saját készítésű biztosítók használata. Ha a kör nem szakad meg időben, amikor az áramerősség nagyobb a megengedettnél, tűz keletkezhet.*




**17. 6. ábra.** Az olvadóbiztosítót a lakások villamos hálózatának főágába iktatják: *a* külső alakja; *b* vázlatrajza. A fogyasztó felé tartó áram (az áram irányát nyíl jelzi) egy alacsony olvadáspontú (például ólom) anyagból készült huzalon halad keresztül. Ha a megengedettnél nagyobb az áramerősség, akkor ez a huzal megolvad, s ezáltal megszakad az áramkör



**17. 7. ábra.** Olvadóbiztosítót alkalmaznak a rádiótechnikában is. A két végén fém érintkezőkkel ellátott üveghenger belsejében egy alacsony olvadáspontú huzal helyezkedik el



**17. 8. ábra.** Automata biztosítók. Az automata biztosító munkaeleme egy kettősfém lemez. Ha a megengedettnél nagyobb az áramerősség, akkor a kettősfém lemezek elválnak egymástól, s ezáltal az áramkör megszakad. Lehülése után a biztosító újra használható

## Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** A lakás villanyórájának automata biztosítója 10 A áramerősségre méretezett. Működésbe lép-e a biztosító, ha egyidejűleg kapcsolunk a hálózatba egy 200 Ω teljesítményű lámpát, egy 800 Ω teljesítményű mosógépet, valamint egy 1200 Ω teljesítményű vízforralót?

Adott:
$I = 10$ A
$P_1 = 200$ W
$P_2 = 800$ W
$P_3 = 1200$ W
$U = 220$ V

$P_{max} - ?$
$P_{össz} - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

A feladat megoldásához meg kell határozni a bekapcsolt fogyasztók $P_{össz}$ összesített fogyasztását. Ha a $P_{össz}$ kisebb, az áram maximálisan megengedett $P_{max}$ teljesítményénél, amire a biztosítót méretezték, akkor a biztosító nem oldja a kört, ha pedig nagyobb, megszakítja azt. Az áram $P_{max}$ teljesítményét megtudjuk a hálózati feszültség (220 V) és a biztosító megengedett áramerősségének ismeretében.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

Mivel a fogyasztók bármilyen bekötése esetén az összfogyasztás az egyes fogyasztók fogyasztásainak összegével egyenlő, ezért $P_{össz} = P_1 + P_2 + P_3$.

A teljesítmény kiszámítására szolgáló képletnek megfelelően

$$P_{max} = UI_{max}.$$

Meghatározzuk a keresett mennyiségek mértékegységét és mérőszámát:

$$[P] = \text{V} \cdot \text{A} = \text{W};$$

$$\{P_{max}\} = 220 \cdot 10 = 2200;\ P_{max} = 2200\ \text{W}.$$

$$P_{össz} = 200 + 800 + 1200 = 2200\ (\text{W}).$$

Elemezzük az eredményt. Összevetve a kapott teljesítményértékeket azt látjuk, hogy a terhelés a körben elérte a legnagyobb megengedett értéket. Sőt, az összekötő vezetékeken fellépő teljesítményveszteség miatt azt állíthatjuk, hogy a biztosító kiold, és az áramkör megszakad.

*Felelet:* a biztosító megszakítja az áramkört.

## Összegzés

A különféle elektromos melegítőkészülékek működése az áram hőhatásán alapul.

A Joule–Lenz-törvény szerint bizonyos hőmennyiség a csatlakozóvezetékekben is keletkezik. Ha jelentősen felmelegednek, akár tüzet is okozhatnak. Ahhoz, hogy a körben folyó áramerősség ne lépjen túl egy megengedett értéket, az áramköröket biztosítóval látják el. A biztosító olyan készülék, amelyik megszakítja az áramkört, ha benne az áramerősség a megengedettnél nagyobb.

## Ellenőrző kérdések

1. Nevezzetek meg olyan elektromos készülékeket, amelyek működése az áram hőhatásán alapul! 2. Milyen energiaátalakulások mennek végbe az elektromos melegítőkészülékben? 3. Milyen tulajdonságokkal kell rendelkeznie annak a fémnek, amiből a fűtőelemet készítik? 4. Miért kell szigetelni a fűtőelemet a készülék burkolatától? 5. Mi okozhatja az áramerősség túlzott megnövekedését az áramkörben? Mihez vezethet ez? 6. Mi a rövidzárlat? 7. Milyen célból használják a biztosítókat? 8. Magyarázzátok meg az olvadóbiztosító felépítését és működési elvét!

## 17. gyakorlat

1. A 100 A fogyasztású hegesztőkészüléket a fiatal munkás egyszerű hosszabbító segítségével akarta bekötni a hálózatba. Miért nem tesz ilyet soha az, aki ismeri a fizika törvényeit?
2. Milyen követelményeknek kell megfelelnie annak az anyagnak, amiből a biztosító olvadó-huzalja készül?
3. Miért kell a villamos hálózat meggyulladásának megelőzése céljából különös figyelmet fordítani arra, hogy a vezetékek csatlakozása minőségi és megbízható legyen?
4. Legfeljebb mennyi lehet a fogyasztó teljesítménye, ha az olvadóbiztosítót 220 V feszültségre és 6 A legnagyobb áramerősségre tervezték?

## Kísérleti feladat

A lakásotokban található kezelési útmutatók alapján tisztázzátok, hogy mennyi az egyes háztartási eszközök teljesítménye! Tudjátok meg a szüleitektől, mekkora áramerősséget bírnak ki a villanyórához kapcsolt biztosítók. Határozzátok meg, hány és konkrétan mely fogyasztók kapcsolhatók be egyszerre az áramkörbe!

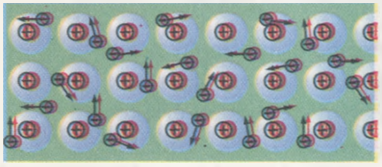
# 18. §. ELEKTROMOS ÁRAM A FÉMEKBEN

?! Az elektromos áramot vezethetik a folyadékok és a szilárd anyagok, bizonyos körülmények között pedig a gázok is. Az elektromos áram tanulmányozását a fémekkel kezdjük. Először is azért, mert kivétel nélkül minden fém jól vezeti az áramot, másodszor pedig azért, mert éppen a fémek vezetőképességével függ össze az elektromos áram széles körű alkalmazása az ember életében.

## 1 Tisztázzuk az elektromos áram természetét a fémekben

A kémia tananyagából már tudjátok, hogy a vegyértékelektronok a fémekben könnyen elhagyják az atomot és szabaddá válnak. Ennek eredményeként a fémkristály rácspontjaiban pozitív ionok maradnak.

Elektromos tér hiányában a szabad elektronok a fém belsejében kaotikusan mozognak. Az elektronok mozgása a fémekben a gázmolekulák mozgására emlékeztet, éppen ezért nevezik a szabad elektronokat a fémekben *elektrongáznak* (18. 1. ábra).

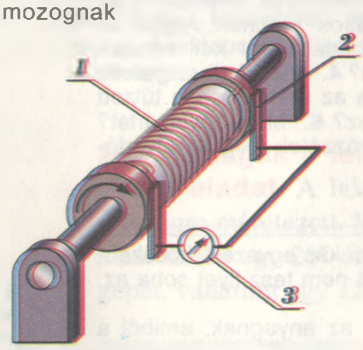


**18. 1. ábra.** A szabad elektronok a fémekben elektromos tér hiányában kaotikusan mozognak

Ha a vezetőben elektromos tér van jelen, akkor a kaotikusan mozgó elektronok az áramforrás pozitív pólusa felé mozdulnak el. Az elektronok mozgása irányítottá válik, a fémben elektromos áram keletkezik.

Az elektromos áram a fémekben nem más, mint a szabad elektronok irányított mozgása.

Ezt a tényt először *L. I. Mandelstam* és *M. D. Papalekszi* orosz tudósok állapították meg (1913) kísérleti úton, valamint tőlük függetlenül *R. Tolman* és *T. Steward* amerikai fizikusok (1916).



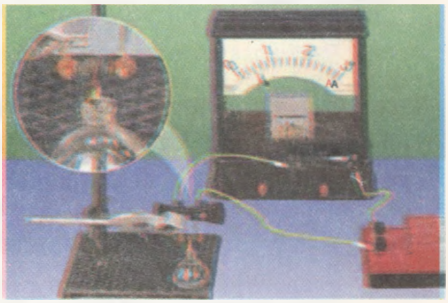

**18. 2. ábra.** Az elektromos áram fémekben való tanulmányozására szolgáló kísérlet vázlatrajza: *1* fémtekercs; *2* csúszó érintkező; *3* érzékeny galvanométer. A tekercset gyorsan forgatják, majd hirtelen megállítják. Ennek eredményeként a körben elektromos áram keletkezik, amit a galvanométer regisztrál

A tudósok a következőképpen okoskodtak. Ha a fémvezetőt gyors mozgásba hozzuk (18. 2. ábra), majd hirtelen megállítjuk, akkor a benne lévő szabad töltött részecskék tovább mozognak a tehetetlenségük miatt (hasonlóan ahhoz, amikor a gépjármű hirtelen megáll, a benne lévő rögzítetlen tárgyak pedig tovább mozognak). Ennek eredményeként a vezetőben rövid ideig áram keletkezik, amit a galvanométerrel regisztrálni lehet. A galvanométer mutatójának kitérési iránya alapján megállapítható azon részecskék töltésének előjele, amelyek létrehozták az áramot. A részecskék töltésének és tömegének arányából megállapítható, mely részecskék hozták létre az áramot.

## 2 Meggyőződünk arról, hogy a fém ellenállása függ a hőmérséklettől

Az 1. pontban említett kísérletekben a vezető megállását követően a részecskék mozgása gyorsan megszűnik. Ez érthető, hiszen a vezető ellenállást fejt ki az árammal szemben. A fémvezető ellenállása nem csak a geometriai méreteitől és az anyagi minőségétől függ, de a hőmérséklettől is. Erről kísérletileg győződünk meg.

Az acélspirált összekötjük az áramforrással és szeszégő lángján melegítjük (18. 3. ábra). A feszültséget állandó szinten tartjuk. A kísérlet bemutatja, hogy a melegítés mértékének megfelelően csökken az áramerősség a spirálban, tehát a spirál ellenállása nő. Ugyanilyen méretű, de más anyagból készített spirálokkal is elvégezzük a kísérletet, és meggyőződünk arról, hogy a hőmérséklet növelésével ezeknek is nő az ellenállásuk, de a változás mértéke különböző lesz.



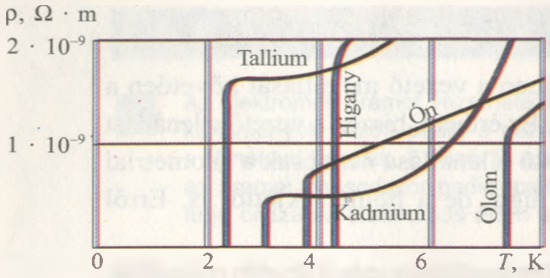
**18. 3. ábra.** A fémek ellenállásának hőmérséklet-függését bemutató kísérlet. A melegítés folyamán az áramerősség csökken, tehát a spirál ellenállása nő

A precíz mérések azt mutatják, hogy a fémek ellenállása gyakorlatilag lineárisan függ a hőmérséklettől. Ismerve a fémvezető ellenállásának változását a hőmérséklet változásakor, az ellenállás megmérésével lehetségessé válik a vezető hőmérsékletének meghatározása. Ez a tény képezi az alapját az ún. *ellenállás-hőmérők* működésének. A hőmérséklet jeladót (ez leggyakrabban platinadrót) abba a közegbe helyezik, aminek a hőmérsékletét meg kell mérni. A drót ellenállása változik, amit az *ohmmérő* rögzít. Az ismert ellenállás alapján meghatározzák a közeg hőmérsékletét. A gyakorlatban az ohmmérő skáláját azonnal hőmérséklet-egységekben kalibrálják.

## 3 Megismerkedünk a szupravezetéssel

1911-ben *H. Kamerlingh-Onnes* holland tudós (18. 4. ábra) a higany abszolút nulla hőmérséklet (–273 °C) közeli viselkedésének tanulmányozása közben furcsa jelenségre lett figyelmes: amikor a higany hőmérséklete 4,1 K (–269 °C) lett, a fajlagos ellenállása ugrásszerűen nullára csökkent. Hasonlóan viselkedett az ón, az ólom és más fémek. Ez a jelenség a *szupravezetés* nevet kapta (18. 5. ábra). A szupravezetés nem magyarázható a fémek elektron-

**18. 4. ábra.** Heike Kamerlingh-Onnes (1853–1926) Nobel-díjas (1913) holland fizikus. Felfedezte a fémek szupravezetését




**18. 5. ábra.** Néhány fém ellenállás-változásának grafikonja az abszolút nulla fok közelében. A zérusponthoz közeledve ezeknek a fémeknek ugrásszerűen nullára csökken a fajlagos ellenállásuk, a fém szupravezetővé válik

**18. 6. ábra.** John Bardeen, Leon Cooper, John Robert Schrieffer fizikai Nobel-díjasok (1972), amit a szupravezetés kvantumelméletének kidolgozásáért kaptak

vezetésével. 1967-ben egy amerikai tudóscsoport (18. 6. ábra) kidolgozta a szupravezetés kvantumelméletét.

### Összegzés

Az elektromos áram a fémekben nem más, mint az elektronok irányított mozgása.

Az elektromos tér hiányában a szabad elektronok a fémekben kaotikusan mozognak. Ha a fémvezetőben elektromos teret hozunk létre, a szabad elektronok kaotikus mozgásuk mellett irányítottan kezdenek mozogni.

A fémvezetők ellenállása függ a hőmérsékletüktől. Ezen a jelenségen alapszik az ellenállás-hőmérők működése.

Ha egyes fémek hőmérséklete az abszolút nulla fok közelébe csökken, az ellenállásuk ugrásszerűen nullára esik. Ezt a jelenséget szupravezetésnek nevezzük.

### Ellenőrző kérdések

**1.** Írjátok le a szabad elektronok mozgásának jellemzőit a fémekben: az elektromos tér hiányában; az elektromos tér jelenlétében! **2.** Mi vezeti az elektromos áramot a fémekben? **3.** Írjátok le az elektromos áram természetének kimutatására végzett kísérletet! **4.** Mi a fémek ellenállásának oka? **5.** Függ-e a fémek ellenállása a hőmérséklettől? **6.** Miben rejlik a szupravezetés jelensége?

### 18. gyakorlat

**1.** Határozzátok meg a tekercs hirtelen megállításakor keletkező, rövid ideig tartó áram irányát (lásd a 18. 2. ábrát)!

**2** Köztudott, hogy a villanytűzhely névleges teljesítményét működő készülékre számítják ki. Képzeljétek el, hogy a tűzhely spiráljának ellenállása nem változik a hőmérséklet változásával. Ahhoz, hogy a teljesítmény ne változzon, növelni vagy csökkenteni kell a spirál hosszát? Válaszotokat indokoljátok!

3*. Az izzólámpa volfrámszála fokozatosan vékonyodik a felületéről elpárolgó fém miatt; végül az izzószál a legvékonyabb helyen átég. Magyarázzátok meg, hogy ez miért az izzó bekapcsolásakor következik be a leggyakrabban?

**A FIZIKA ÉS TECHNIKA UKRAJNÁBAN**

**Az Ukrán Tudományos Akadémia Fémfizikai Intézete**

A modern ember élete elképzelhetetlen a fémek alkalmazása nélkül. Sajnos, a természet nem hozta létre az „ideális" fémet. Például vannak olyan fémek, amelyek rendkívül szilárdak, a sűrűségük kicsi, viszont meglehetősen drágák (titán), másoknak kicsi az elektromos ellenállásuk, ugyanakkor nem eléggé szilárdak (alumínium). Ezért a tudósok évszázadok óta próbálkoznak a konkrét fém tulajdonságainak javításával, megőrizve a „jó" és csökkentve a „rossz" tulajdonságokat.

A XX. század kvantumfizikája lehetővé tette a fémek tulajdonságainak célirányos megváltoztatását. Ez a folyamat a mikroszerkezetük különféle módszerekkel való tanulmányozásán alapul. A fémfizikai intézet rendelkezik az egyik legnagyobb, a fémek mikroszerkezetének vizsgálatára szolgáló eszköztárral. Ezért a XX. század végén felfedezett nanotechnikai anyagok megjelenését az intézet tudósai felkészülten fogadták (aki elfelejtette, mi a *nanoanyag*, forduljon a 7. osztályos fizika tankönyv *Enciklopédiai oldalai*hoz).

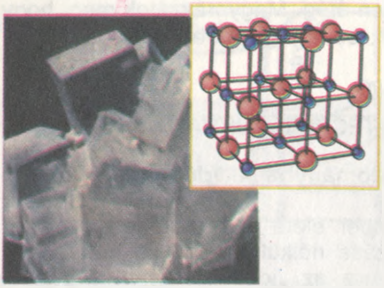
A fémfizikai intézet tudósai által megalkotott tudományos fejlesztések gyakorlati megvalósítása az egyedi tulajdonságokkal rendelkező anyagok létrehozására irányul. Ezeket az anyagokat a legújabb fémszerkezetekben használják: a repülőgép- és autóiparban, az űrtechnikában, a gyógyászatban.

# 19. §. ELEKTROMOS ÁRAM A FOLYADÉKOKBAN

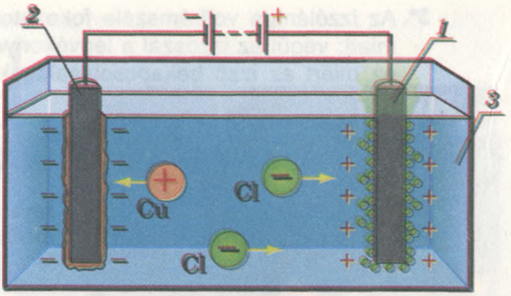
?! A desztillált víz gyakorlatilag szigetelő, mivel alig van benne szabad töltött részecske; a konyhasó is a dielektrikumokhoz tartozik. Azonban, ha egy csipet konyhasót bedobunk a desztillált vízbe, akkor a kapott oldat már jól vezeti az áramot. Miért van ez így? Honnan kerültek az oldatba az elektromos töltéssel rendelkező szabad részecskék?

## 1 Megismerkedünk az elektrolitokkal

Sok anyag (például a sók) molekulája pozitív, illetve negatív ionokból áll, amit az elektromos vonzóerő egyesít. Így, a konyhasó (NaCl) makromolekulája pozitív nátrium ionokból ($Na^+$) és negatív klórionokból ($Cl^-$) áll (19. 1. ábra), a rézszulfát ($CuSO_4$) makromolekulája pozitív rézionokból ($Cu^{2+}$) és negatív szulfátionokból ($SO_4^{2-}$). Ha ezeket az anyagokat például vízben feloldjuk, akkor az ionok közötti vonzóerő meggyengül, és az anyag molekulái különálló ionokra hullhatnak szét. Kémiából már tanultátok, hogy bizonyos anyagok ionokra bomlása az oldószer poláris (dipólusmomentummal rendelkező) molekuláinak hatására az *elektrolitikus disszociáció* nevet viseli (a latin *dissociatio* – szétkapcsolódás, szétválás).



**19. 1. ábra.** A konyhasó (NaCl) makromolekulája pozitív nátrium $Na^+$ és negatív klór $Cl^-$ ionokból tevődik össze




**19. 2. ábra.** Az elektromos áram folyadékokban való vizsgálatának vázlata: *1* anód; *2* katód; *3* elektrolittal töltött kád. A kör zárását követően a pozitív ionok (kationok) a katód felé, a negatív ionok (anionok) az anód felé tartanak

Az elektrolitikus disszociáció eredményeként az oldatban szabad töltött részecskék – pozitív és negatív ionok – keletkeznek, az oldat pedig áramvezetővé válik.

A kísérletek azt mutatják, hogy a molekulák ionokra bomlását nem csak az oldószer idézheti elő. A hőmérséklet jelentős emelkedésének hatására bizonyos sók és fémoxidok oldószer nélkül is különálló ionokra hullhatnak szét. Ezért ezeknek az anyagoknak az olvadékai is vezetik az elektromos áramot.

*Azokat az anyagokat, amelyeknek az oldatai, illetve az olvadékai vezetik az elektromos áramot,* ***elektrolitoknak*** *nevezzük.*

## 2 Tisztázzuk, hogyan halad át az elektromos áram az elektrolitokon

Veszünk két szénelektródot és hozzákapcsoljuk az áramforrás pólusaihoz (l. a 19. 2. ábrát). Emlékeztetünk arra, hogy az áramforrás pozitív sarkához kapcsolt elektródot *anódnak*, a negatívhoz kapcsoltat pedig *katódnak* nevezzük. Az elektródokat elektrolittal, például réz-klorid ($CuCl_2$) vizes oldatával feltöltött edénybe eresztjük és zárjuk az áramkört. A réz-klorid oldatban elektromos tér keletkezik, aminek hatására a szabad pozitív rézionok ($Cu^{2+}$) a katódhoz vándorolnak, a szabad negatív klórionok ($Cl^-$) pedig az anódhoz. Tehát az oldatban létrejön a szabad töltéshordozók irányított mozgása – az elektromos áram.

Az elektromos áram az elektrolit oldatokban és olvadékokban nem más, mint **a szabad ionok irányított mozgása**.

Meg kell jegyeznünk, hogy az ionos áramvezetői mechanizmus (az elektrolit oldatokon és olvadékokon kívül) néhány szilárd anyagra is jellemző. Ilyen például a nátrium-klorid (NaCl), a kálium-klorid (KCl), az ezüst-nitrát ($AgNO_3$) stb.

Az **elektrolitok** olyan szilárd vagy cseppfolyós anyagok, amelyek ionvezetéssel rendelkeznek.

Az áram áthaladásakor az elektrolitokban a pozitív ionok a negatív elektród – katód – felé haladnak, ezért *kationoknak* nevezik őket; a negatív ionok a pozitív elektród – anód – felé haladnak, ennek megfelelően az *anion* nevet viselik.

## 3 Megadjuk az elektrolízis meghatározását

Az elektromos áram elektroliton való áthaladását (ellentétben az áram fémeken való áthaladásával) az jellemzi, hogy az ionok szállítják az elektrolit kémiai összetevőit és ezek kicsapódnak az elektródokon, szilárd réteg formájában lerakódnak vagy gáznemű állapotban kiválnak.

Például, ha a réz-klorid vizes oldatán néhány percig áramot vezetünk át, akkor azt tapasztaljuk, hogy a katódot vékony rézréteg lepi el (19. 3. ábra), az anódnál pedig gáznemű klór válik ki. A klór jelenlétét jellegzetes szaga árulja el, vagy ha az anódot a kísérlet megkezdése előtt színes anyaggal vesszük körül, az elszíntelenedése alapján következtethetünk a klórra.

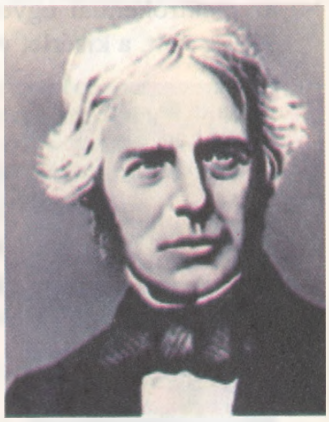
**19. 3. ábra.** Néhány perccel azután, hogy áramot bocsátunk át a réz-klorid oldaton, a katód felületét vékony rézréteg lepi el

Ez azért mehet végbe, mert amikor az áram áthalad a réz-klorid oldaton, a szabad pozitív rézionok ($Cu^{2+}$) a katódhoz, a szabad negatív klórionok ($Cl^-$) pedig az anódhoz tartanak. Elérve a katódot, a réz kation a számára hiányzó elektronokat „elveszi" annak felületéről, vagyis *redukciós kémiai reakció* megy végbe. Ennek eredményeként a réz kation semleges atommá alakul át; a katód felületén kicsapódik a réz. Ezzel egy időben a klór anionok elérve az anód felületét, „leadják" a fölös elektronjaikat, *oxidációs kémiai reakció* megy végbe; az anódon klór válik ki.

*Tehát ha az elektroliton áram halad keresztül, akkor az oxidációs-redukciós reakciók következtében az elektródokon anyag válik ki. Ezt a jelenséget* ***elektrolízisnek*** *nevezzük.*

## 4 „Felfedezzük" Faraday törvényét

Az elektrolízis jelenségét részletesen *M. Faraday* (19. 4. ábra) angol fizikus tanulmányozta elsőként. Pontosan megmérve az elektródokon kivált anyag mennyiségét az elektromos áram elektroliton való áthaladásakor, megfogalmazta azt a törvényt, amit később az **elektrolízis törvényének** vagy **Faraday első törvényének** neveztek el:



**19. 4. ábra.** Michael Faraday (1791–1867) angol fizikus, az elektromágneses térről szóló elmélet megalkotója. Felfedezte az elektromos áram kémiai hatását, kidolgozta az elektrolízis törvényeit és sok más jelentős felfedezést tett

Az elektrolízis során az elektródon kiváló anyag $m$ tömege egyenesen arányos az $I$ áramerősséggel és az áram elektroliton való áthaladásának $t$ idejével:

$$m = kIt,$$

ahol $k$ arányossági tényező, ami *az anyag elektrokémiai egyenértéke* nevet kapta.

*Az anyag elektrokémiai egyenértéke számbelileg egyenlő ennek az anyagnak a tömegével, ami* 1 s *alatt kiválik az elektródon, amikor az elektrolitban* 1 A *erősségű áram folyik* $\left([k] = \frac{\text{mg}}{\text{A} \cdot \text{s}} = \frac{\text{mg}}{\text{C}}\right)$.

Néhány anyag elektrokémiai egyenértéke

| Anyag | Elektrokémiai egyenérték $k$, $\frac{\text{mg}}{\text{C}}$ | Anyag | Elektrokémiai egyenérték $k$, $\frac{\text{mg}}{\text{C}}$ |
|---|---|---|---|
| Alumínium ($Al^{3+}$) | 0,09 | Nikkel ($Ni^{2+}$) | 0,30 |
| Hidrogén ($H^{+}$) | 0,01 | Ezüst ($Ag^{+}$) | 1,12 |
| Oxigén ($O^{2-}$) | 0,08 | Króm ($Cr^{3+}$) | 0,18 |
| Réz ($Cu^{2+}$) | 0,33 | Klór ($Cl^{-}$) | 0,37 |
| Nátrium ($Na^{+}$) | 0,24 | Cink ($Zn^{2+}$) | 0,34 |

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** A réz elektrokémiai egyenértékének meghatározásához a réz-szulfát oldaton 30 percen keresztül 0,5 A erősségű áramot vezettek át. Mennyinek adódott az elektrokémiai egyenérték, ha a katód tömege a kísérlet megkezdése előtt 75,2 g volt, a kísérlet végén pedig 75,74 g lett?

Adott:
$t = 1800$ s
$I = 0{,}5$ A
$m_1 = 75\,200$ mg
$m_2 = 75\,470$ mg

$k$ – ?

*A fizikai probléma elemzése*

A feladat megoldásához felhasználjuk az elektrolizis törvényét. A katódon kivált réz mennyiségét a katód kísérlet utáni, illetve előtti tömegének különbségeként határozzuk meg. Mivel a táblázatokban az elektrokémiai egyenértéket milligramm/coulomb-ban adják meg, ezért a tömeget célszerű milligrammban kifejezni.

*Matematikai modell keresése, megoldás, az eredmények elemzése*

Faraday első törvényének megfelelően: $m = kIt$, tehát $k = \frac{m}{It}$; emellett $m = m_2 - m_1$. Adódik:

$$k = \frac{m_2 - m_1}{It}.$$

Meghatározzuk a keresett mennyiség mértékegységét és mérőszámát:

$$[k] = \frac{\text{mg}}{\text{A} \cdot \text{s}} = \frac{\text{mg}}{\text{C}};$$

$$\{k\} = \frac{75470 - 75200}{0{,}5 \cdot 1800} = \frac{270}{900} = 0{,}30\,;\ k = 0{,}30\ \frac{\text{mg}}{\text{C}}\,.$$

Elemezzük az eredményt. Összehasonlítva a kapott eredményt a réz elektrokémiai egyenértékének táblázati értékével ($k = 0{,}33\ \frac{\text{mg}}{\text{C}}$) azt látjuk, hogy a számok csaknem megegyeznek.

A hiba a tömeg pontatlan mérése miatt keletkezett. Tehát a feladat megoldása helyes.

*Felelet.* A réz kísérlet eredményeként kapott elektrokémiai egyenértéke $k = 0{,}30\ \frac{\text{mg}}{\text{C}}$.

## Összegzés

Az elektrolitok ionokra bomlását az oldószer hatására elektrolitikus disszociációnak nevezzük. A disszociáció eredményeként az oldatban szabad töltéshordozók – kationok és anionok – jelennek meg. Az elektrolit ionvezetéssel rendelkező szilárd, illetve cseppfolyós anyag.

Az elektroliton átfolyó áram a szabad ionok rendezett mozgása. Az anyag elektródokon történő kiválásának folyamatát, amely az oxidációs-redukciós reakciók következtében az áram áthaladásakor megy végbe, elektrolízisnek nevezzük. Az elektrolízis során teljesül Faraday első törvénye (az elektrolízis törvénye): az elektródon kiváló anyag tömege egyenesen arányos az áramerősséggel és az áram elektroliton való áthaladásának idejével: $m = kIt$. A $k$ arányossági tényezőt az anyag elektrokémiai egyenértékének nevezzük.

## Ellenőrző kérdések

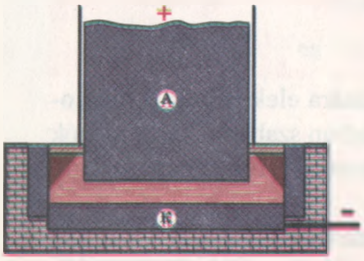
1. Miben rejlik az elektrolitikus disszociáció jelensége? Mondjatok néhány példát!
2. Mi az elektrolit? 3. Mi hordozza az elektromos áramot az elektrolitok oldataiban, illetve olvadékaiban? 4. Ismertessétek az elektrolízis folyamatát! 5. Fogalmazzátok meg Faraday első törvényét! 6. Mi az anyag elektrokémiai egyenértékének fizikai lényege?

## 19. gyakorlat

1. Az elektrolízis törvényére támaszkodva vezessétek le az elektrokémiai együttható SI egységét!
2. A desztillált víz nem vezető. Miért vezeti jól az áramot a csapvíz vagy a folyó-, illetve a tengervíz?
3. Miért vezeti jól a só vizes oldata az áramot, a cukoré viszont nem?
4. Az elektrolízis során, amikor is az elektrolit az ezüst-nitrát volt, a katódon 25 g ezüst vált ki. Mennyi ideig tartott az elektrolízis, ha az áramerősség állandó, 0,5 A volt?
5. Az ezüst-nitrát oldaton két órán keresztül elektromos áramot engedtek át. Határozzátok meg az elektrolízis során a katódon kivált ezüst mennyiségét, ha az elektródokon mért feszültség 2 V, az oldat ellenállása pedig 0,4 Ω volt!
6. Az elektrolízis során a kénsav oldatából 50 perc alatt 3 g hidrogén vált ki. Határozzátok meg az elektrolit melegítésére fordított teljesítményt, ha az ellenállása 0,4 Ω volt!

# 20. §. AZ ELEKTROLÍZIS ALKALMAZÁSA

?! Egy legenda szerint a XVIII. század vége felé Anglia királya megajándékozta II. Katalin orosz cárnőt egy alumínium korsóval. Elképzelni sem tudjátok, mennyire meglepte őt ez a drága ajándék! Tudnotok kell, hogy azokban az időkben az alumínium nagyon ritka volt és néhányszor drágább az aranynál. Később, az elektrolízis elterjedésével az alumínium mindenki számára elérhetővé és viszonylag olcsóvá vált. Ebben a paragrafusban arról lesz szó, hogyan nyerhetünk ki fémeket az elektrolízis segítségével, valamint megtudhatjátok, hol alkalmazzák még az elektrolízist.




**20. 1. ábra.** Alumíniumgyártás ipari berendezésének vázlata. A kád kriolitban oldott alumínium-oxiddal telt. Katódként a kád grafitból kirakott alja és falai szolgálnak; az alumínium a kád alján gyűl össze; anódként pedig az elektrolitba merített szénrudak, ezeken oxigén válik ki

## 1 Fémek kinyerésére alkalmazzuk az elektrolízist

Az elektrolízist széleskörűen alkalmazzák az iparban. A sókból és oxidokból elektrolízis segítségével sokféle fém nyerhető ki: réz, nikkel, alumínium stb. Például, az alumínium kiválasztásához elektrolitként kriolitban ($Na_3AlF_6$) 950 °C-on feloldott alumínium-oxidot ($Al_2O_3$) használnak. Az oldatot speciális elektrolizáló kádba töltik; katódként általában a kád grafitból kirakott alja és falai szolgálnak, anódként pedig az elektrolitba merített szénrudak (20. 1. ábra). Amikor áramot bocsátanak át az elektroliton, a katódon alumínium válik ki. Néhány más fém esetében is hasonló az eljárás.

## 2 Tiszta fémeket kapunk

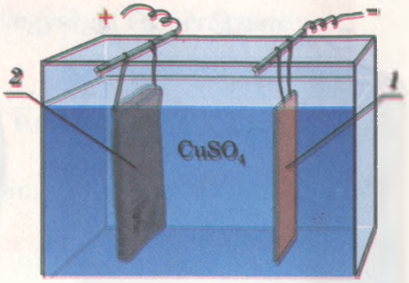
Az elektrolízis (vagy más módszer segítségével) előállított fémek bizonyos mennyiségű szennyező anyagot is tartalmaznak, mivel a nyersanyag nem lehet „ideális". Az olvadékban mindig megtalálhatók más fémek sói és oxidjai, amelyek ugyanúgy kiválhatnak a katódon. A fémek szennyeződésektől való megtisztítására ismét az elektrolízist alkalmazzák.

*A fémek elektrolízissel történő tisztítását* ***raffinálásnak*** *nevezzük.* Ezzel a módszerrel tisztítják a rezet, az alumíniumot, az ólmot, az ezüstöt és néhány más fémet.

Tekintsünk egy példát. A réz-szulfát oldattal ($CuSO_4$) töltött kádba két elektródot eresztenek. Anódként egy vastag, szennyezett rézlemez szolgál, katódként pedig egy vékony vegytiszta rézből készült lemez. Az áram áthaladásakor a vegytiszta réz az anódról a katódra kerül, a szennyeződések pedig leülepednek az oldatban (20. 2. ábra). Tisztázzuk, hogyan megy végbe ez a folyamat.

Az oldatban a réz-szulfát réz ($Cu^{2+}$) kationokra és szulfát ($SO_4^{2-}$) anionokra bomlik (disszociál). Az elektrolízis során a réz kationok a katód felé

haladnak, ahol felveszik a hiányzó elektronjaikat. A semleges réz atomok kicsapódnak a katódon, miközben a katód tömege megnő. A szulfát-anionok pedig az anód felé haladnak, ahol egyesülnek a rézionokkal; az anód így fokozatosan feloldódik, és a tömege csökken.



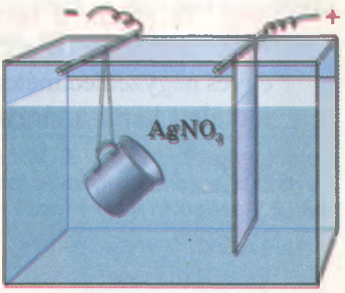

**20. 2. ábra.** A réz raffinálása: A vékony, vegytiszta rézből készült lemez a katód (*1*), a vastag, szennyezett rézlap pedig az anód (*2*); a kád rézszulfát vizes oldatával van feltöltve

## 3 Megismerkedünk a galvanosztégiával

Az elektrolízis segítségével vékony fémréteg vihető fel egy másik fém felületére. Ezzel az eljárással lehet ezüstözni, aranyozni, nikkelezni, krómozni az adott felületet. Az ilyen rétegek egyrészt a fémek korrózióvédelmét segítik, másrészt megnövelhetik a szilárdságát, vagy esztétikai célokat szolgálnak.

*A készítmény vékony fémréteggel való bevonásának elektrolitikus módszerét* ***galvanosztégiának*** *nevezzük.*

A tárgyat, amit be szeretnének vonni vékony fémréteggel, elektrolit fürdőbe eresztik, aminek komponensei között szerepel a szükséges fém. A bevonandó készítmény a katód, a fémlemez, amivel bevonják a tárgyat az anód. Az áram áthaladásakor a fém kicsapódik a készítményen (a katódon), az anódlemez pedig fokozatosan feloldódik (20. 3. ábra).



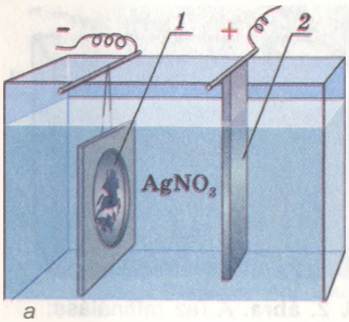

**20. 3. ábra.** Galvanikus ezüstözés. Az ezüsttel bevonandó tárgy (csupor) a katód, az ezüstlemez pedig az anód; a kád ezüst-nitrát oldatával töltött

## 4 Tanulmányozzuk a galvanoplasztikát

***A galvanoplasztika*** *domború tárgyak pontos másolatának elkészítése elektrolízis segítségével.*

Tegyük fel, hogy egy bonyolult formájú tárgy pontos másolatát szeretnénk elkészíteni (pénzérme, érdemrend, dombormű stb.). Előbb elkészítik a tárgy viaszból vagy más plasztikus anyagból készült mintáját. A minta felületét grafittal vonják be, hogy vezesse az áramot. Ezután a mintát az elektrolit fürdőbe merítik; a minta lesz a katód. Az anód egy fémlemez lesz. Amikor az áram átmegy az oldaton, a mintára meglehetősen vastag fémréteg tapad, ami betölti a minta összes egyenetlenségét. Az elektrolízis befejeztével a viaszmintát elválasztják a fémrétegtől, és ennek eredményeként megkapják a tárgy pontos mását (20. 4. ábra).

Nyilvánvaló, hogy az elektrolízis alkalmazása a modern technikában nem merül ki a felsorolt példákkal. Az elektrolízis segítségével polírozni lehet az anód felületét; az elektrolízis képezi az alapját a savas és lúgos akkumulátorok



a

b

**20. 4. ábra.** Domború másolatok készítése elektrolízis segítségével: *a* a berendezés vázlatrajza: a grafittal bevont viaszminta szolgál katódként (*1*), az ezüstlemez pedig az anód (*2*); a kád ezüst-nitrát oldatával töltött; *b* az eljárás során nyert másolat

feltöltésének és kisülésének stb. Azonban az eközben végbemenő kémiai és fizikai folyamatok meglehetősen bonyolultak. Részletes tanulmányozásuk túlmegy az iskolai fizika tananyagon.

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** A nikkelezés során a bevonandó anyag felületének minden egyes négyzetdeciméterén 0,4 A erősségű áramot bocsátanak keresztül. Mennyi idő alatt kerül a tárgyra 0,2 mm vastagságú nikkelréteg? A nikkel sűrűsége $9\frac{g}{cm^3}$.

Adott:
$S = 100\ cm^2$
$I = 0{,}4\ A$
$d = 0{,}02\ cm$
$\rho = 9\ \frac{g}{cm^3}$
$k = 0{,}30\ \frac{mg}{C} =$
$= 0{,}0003\ \frac{g}{C}$

$t - ?$

*A fizikai probléma elemzése*

Az elektrolízis lefolyási idejét Faraday első törvényéből lehet meghatározni, ha az elektródon kivált anyag tömegét a sűrűség és a térfogat által fejezzük ki. A nikkel elektrokémiai egyenértékét megkeressük a megfelelő táblázatban. A feladat megoldása közben a sűrűséget gramm/köbcentiméterben célszerű megadni, a réteg vastagságát centiméterben, a felület területét négyzetcentiméterben, az elektrokémiai egyenértéket pedig gramm/coulombban.

*Matematikai modell keresése, megoldás*

Felidézzük Faraday első törvényét: $m = kIt$. Innen

$$t = \frac{m}{kI}. \qquad (1)$$

A sűrűség meghatározásából: $\rho = \frac{m}{V}$; innen $m = \rho V$.

Mivel $V = Sd$, ezért

$$m = \rho Sd. \qquad (2)$$

A (2) képletet az (1)-be behelyettesítve:

$$t = \frac{\rho Sd}{kI}.$$

Meghatározzuk a keresett mennyiség mértékegységét és mérőszámát:

$$[t] = \frac{\frac{g}{cm^3} \cdot cm^2 \cdot cm}{\frac{g}{C} \cdot A} = \frac{g \cdot C}{g \cdot A} = \frac{A \cdot s}{A} = s; \qquad \{t\} = \frac{9 \cdot 100 \cdot 0{,}02}{0{,}0003 \cdot 0{,}4} = 15\,000;$$

$$t = 15\,000 \text{ s} = 4 \text{ h } 10 \text{ min}.$$

*Felelet:* a nikkelezés 4 óra 10 percig tart.

## Összegzés

Az elektrolízist széleskörűen alkalmazzák az iparban. Az elektrolízis segítségével a sókból és oxidokból sokféle fémet nyernek (réz, nikkel, alumínium és mások), valamint megtisztítják a fémeket. A fémek megtisztítását elektrolízis segítségével raffinálásnak nevezzük.

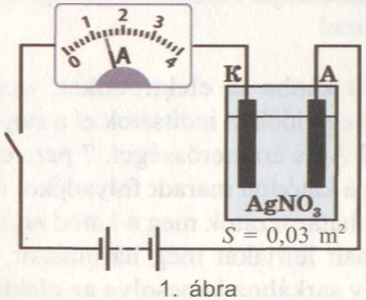
Az elektrolízis segítségével vékony fémréteget lehet felvinni a tárgy felületére és elkészíthető a domború tárgyak pontos mása. A készítmény vékony fémréteggel való bevonásának elektrolitikus módszerét galvanosztégiának, a domború tárgyak pontos másának elkészítését az elektrolízis segítségével, galvanoplasztikának nevezzük.

## Ellenőrző kérdések

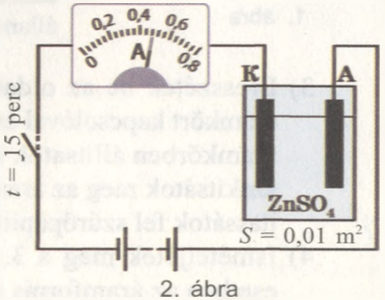
1. Soroljatok fel példákat az elektrolízis alkalmazására! 2. Hogyan kapható alumínium elektrolízis alkalmazásával? 3. Hogyan tisztíthatók meg a fémek a szennyeződésektől? 4. Miért vonják be a fémek felületét más fém vékony rétegével? 5. Mi a galvanosztégia? A galvanoplasztika?

## 20. gyakorlat

1. Az 1. ábrán egy olyan elektromos berendezés vázlatrajza látható, amelynek alkotóeleme egy ezüst-nitrát vizes oldatával töltött edény. A rajz adatai alapján számítsátok ki: mennyi idő alatt alakul ki az elektródon 8 μm vastag ezüstréteg, ha az ezüst sűrűsége 10,5 g/cm³! Mennyi energiát kell erre fordítani, ha az elektródákon mért feszültség 11 V?
2. A 2. ábrán egy olyan áramkör vázlatrajza látható, amihez egy cink-szulfát vizes oldatával töltött edény tartozik. A rajzon feltüntetett adatok alapján állapítsátok meg, milyen vastag cinkréteg keletkezik a katódon az elektrolízis eredményeként! A cink sűrüsége 7,1 g/cm³.
3. A kanalak ezüstözése céljából az ezüst-nitrát oldatán 1,8 A erősségű áramot engedtek át. Katódként 12 kanál szolgált, amelyek felülete egyenként 50 cm² volt. Mennyi ideig tartott az elektrolízis, ha a kanalakon 58 μm vastagságú ezüstréteg rakódott le? Az ezüst sűrüsége 10,5 g/cm³.




1. ábra




2. ábra

## 9. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** Az elektrolízis jelenségének vizsgálata.

**Cél:** annak kísérleti igazolása, hogy az elektródon kivált anyag tömege egyenesen arányos az elektroliton átfolyt töltéssel.

**Eszközök:** elektrolizáló kád; réz-szulfát ($CuSO_4$) vizes oldata, elektród, egyenáramforrás, stopperóra, amperméró, mérleg súlyokkal, reosztát, szűrőpapír, kapcsoló, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Előkészület a kísérlethez

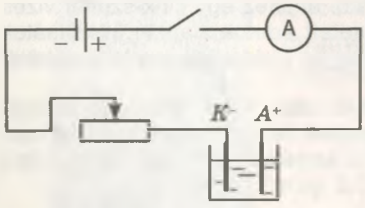
Mielőtt elkezdenétek a munkát, győződjetek meg arról, hogy ismeritek:

1) az áramkörökkel végzett munka balesetvédelmi előírásait;
2) a mérleg helyes használatát;
3) hogyan függ az elektródon kivált anyag tömege az oldatban átfolyó áram erősségétől és az áram áthaladásának időtartamától.

#### Kísérlet

*A mérések eredményeit rögtön írjátok be a táblázatba!*

Tisztázzátok, hogyan függ az elektródon kivált réz mennyisége az elektroliton áthaladó töltéstől. Ehhez a következőket kell tenni:




1. ábra

1) A mérleg segítségével határozzátok meg az elektród (a kísérletben a katód) $m_1$ tömegét!
2) Állítsátok össze az áramkört az 1. ábrán megadott kapcsolási rajz szerint!

F i g y e l m e z t e t é s . Ne feledjétek, hogy a katódot az áramkör negatív pólusához kell kapcsolni. A kísérlet alatt az áramerősséget a reosztát segítségével tartsátok állandó értéken!

3) Eresszétek be az oldattal telt kádba az elektródokat, zárjátok az áramkört kapcsolóval és ezzel egy időben indítsátok el a stoppert! Az áramkörben állítsatok be 1–2 A-es áramerősséget. 7 perc elteltével szakítsátok meg az áramkört, a katódon maradt folyadékot óvatosan itassátok fel szűrőpapírral, és határozzátok meg a katód $m_2$ tömegét!
4) Ismételjétek meg a 3. pontban leírtakat még háromszor, minden esetben az áramforrás negatív sarkához kapcsolva az elektródot!

## A kísérlet eredményeinek feldolgozása

*A kísérlet eredményeit írjátok be a táblázatba!*

1) Az $m = m_2 - m_1$ képlet segítségével számítsátok ki a katódon 7, 14, 21, 28 perc alatt kivált réz $m$ tömegét!
2) A $q = It$ képlettel számítsátok ki a $q$ töltés nagyságát, ami a feltüntetett időtartamok alatt áthaladt az elektroliton!

| A kísérlet sorszáma | A katód tömege a kísérlet előtt $m_1$, mg | A katód tömege a kísérlet után $m_2$, mg | A katódon kivált réz tömege, $m$, mg | Idő $t$ | | Áramerősség $I$, A | Töltés $q$, C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | min | s | | |
| 1. | | | | 7 | | | |
| 2. | | | | 14 | | | |
| 3. | | | | 21 | | | |
| 4. | | | | 28 | | | |

## A kísérlet és eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és az eredményeit! Vonjatok le következtetést arról: hogyan függ az elektródon kivált anyag tömege az elektroliton átfolyt töltésmennyiségtől! Mutassatok rá a mérések pontosságát befolyásoló tényezőkre!

### Alkotói feladat

Ábrázoljátok grafikusan a katódon kivált réz mennyisége és az elektroliton átfolyt töltésmennyiség közötti összefüggést! A grafikon segítségével határozzátok meg a réz elektrokémiai egyenértékét! Hasonlítsátok össze a kapott eredményt a táblázati értékkel! Magyarázzátok meg az eltérés okát!

# 21. §. ELEKTROMOS ÁRAM A GÁZOKBAN

A paragrafus címét elolvasva néhányan biztosan elcsodálkoztok: a fejezet elején azt tanultátok, hogy a gázok szigetelők, ez pedig azt jelenti, hogy nincsenek bennük szabad töltéshordozók. Akkor miféle áramról lehet szó? A megjegyzés jogos, de arról volt szó, hogy a gázok közönséges körülmények között dielektrikumok. Azonban léteznek olyan körülmények, amikor a gázok vezetővé válnak. Ebben a paragrafusban arról esik majd szó, hogy ez mikor következik be, valamint arról is, mi is tulajdonképpen az elektromos áram a gázokban.

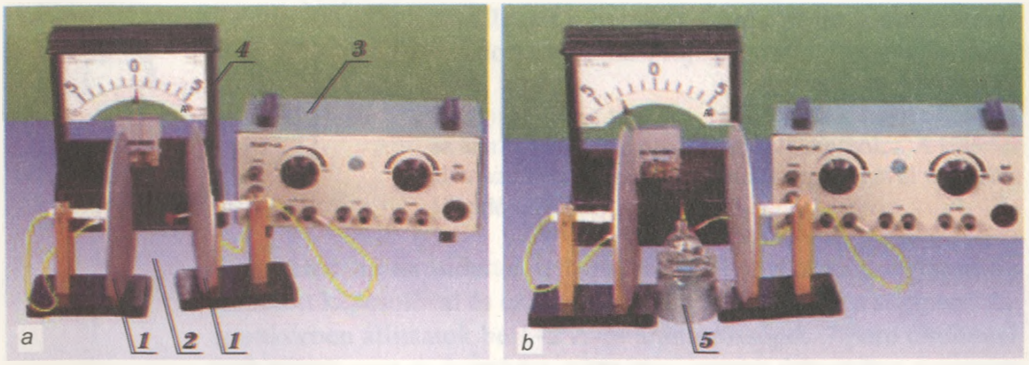
## 1 Elvégzünk egy kísérletet

Összeállítunk egy *nagyteljesítményű* áramforrásból, galvanométerből és két fémlemezből álló áramkört (21. 1. *a* ábra). A lemezek bizonyos távolságra vannak egymástól, tehát közöttük levegő van. Ha zárjuk a kört, azt tapasztaljuk, hogy a galvanométer mutatója nem mozdult meg. Ez azt jelenti, hogy a körben nincs áram, vagy az áram annyira csekély, hogy az egyébként rendkívül érzékeny műszer nem képes kimutatni. Vagyis levonhatjuk a következtetést: *közönséges körülmények között a levegőben nincsenek szabad töltéshordozók és a levegő nem vezeti az áramot.*

Helyezzünk a fémlemezek közé meggyújtott szeszégőt és azt látjuk, hogy a galvanométer mutatója kilendült (21. 1. *b* ábra). Ez azt jelenti, hogy a levegőben szabad töltéssel rendelkező részecskék jelentek meg és a levegő vezetni kezdte az áramot. Tisztázzuk, miféle részecskékről van szó, honnan és hogyan keletkeztek.

## 2 Megismerkedünk a gázok vezetésének mechanizmusával

Tudjátok, hogy minden anyag atomja pozitív töltésű magból és negatív töltésű elektronokból áll. Mivel az elektronok össztöltése egyenlő a mag

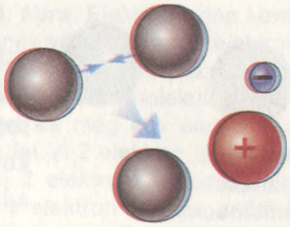



**21. 1. ábra.** A gázok vezetésének tanulmányozására szolgáló kísérlet: *1* fémlemezek; *2* légtér; *3* nagyteljesítményű áramforrás; *4* galvanométer; *5* szeszégő. Közönséges körülmények mellett a levegő nem vezeti az elektromos áramot (*a*); ha meggyújtott szeszégőt viszünk az elektródok közötti légtérbe, a levegő vezetővé válik (*b*)

töltésével, így a levegőben lévő atomok és molekulák elektromosan semlegesek. Ezért közönséges körülmények között a levegő szigetelő.

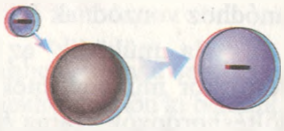
A láng melegíti a levegőt, ami a molekulák (atomok) kinetikus energiájának növekedésével jár. Ütközéskor elektron szakadhat le a molekuláról (atomról) és szabaddá válhat. Elektronvesztés következtében a molekula (atom) pozitív ionná válik (21. 2. ábra).

A hőmozgás során az elektron a semleges molekulával vagy atommal történő ütközéskor „hozzátapadhat" a részecskékhez, így negatív ion keletkezik (21. 3. ábra).



**21. 2. ábra.** A gázmolekula ionizációjának vázlata. Az ütközés során az elektront vesztő molekula pozitív ionná válik

Azt a folyamatot, amelynek eredményeként a molekulából (atomból) pozitív és negatív ion keletkezik, valamint szabad elektronok válnak ki, **ionizációnak** nevezzük.



**21. 3. ábra.** Negatív ionok keletkezése a gázban: az elektron a semleges molekulához tapad

Az ionizáció eredményeként a gázban szabad töltéshordozók keletkeznek: elektronok, pozitív és negatív ionok. Az ilyen gázt *ionizáltnak* nevezzük.

Ha az ionizált gázt elektromos térbe helyezzük, akkor a tér hatására a pozitív ionok az áramforrás negatív sarkával összekötött lemez felé kezdenek el mozogni, az elektronok és a negatív ionok pedig az áramforrás pozitív pólusához kapcsolt lemez felé. A lemezek közötti térben létrejön a szabad töltéshordozók irányított mozgása, az elektromos áram.

**Az elektromos áram a gázokban** nem más, mint a szabad elektronok, pozitív és negatív ionok irányított mozgása.

Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a gáz nem csak a hőmérsékletének növelésével ionizálható, de más tényezők hatására is. A légkör felső rétegei például a kozmikus sugárzás hatására ionizálódnak; nagy ionizációs hatással rendelkezik a röntgensugárzás is stb.

## 3 Megadjuk a nem önfenntartó gázkisülés meghatározását

A gázok áramvezetését szokás ***gázkisülésnek*** is nevezni. A kísérlet azt mutatja, hogyha megszüntetjük a gázok ionizációját kiváltó okot (eltávolítjuk az égőt, kikapcsoljuk a röntgensugárzás forrását stb.), akkor a gázkisülés általában megszűnik.

Az olyan gázkisülést, ami csak a külső ionizátor jelenlétében működik, **nem önfenntartó** vagy **gerjesztett gázkisülésnek** nevezzük.

Tisztázzuk, miért szűnik meg a gázkisülés az ionizátor hatásának megszűnését követően.

**21. 4. ábra.**
A gázmolekulák rekombinációja

Először is, a hőmozgás folyamán a pozitív ion megközelítheti és magához vonzhatja az elektront, aminek eredményeként semleges gázmolekula (atom) keletkezik. Ezt a folyamatot *rekombinációnak* nevezzük (21. 4. ábra). A rekombináció következtében a szabad töltött részecskék száma a lemezek közötti térben csökken.

Másodszor, a pozitív ion a negatív elektródot (a katódot) elérve elektront „vesz el" tőle és semleges molekulává (atommá) alakul át. Hasonlóképpen, a negatív ion a pozitív elektródot (az anódot) elérve, leadja fölösleges elektronját és szintén semleges molekulává (atommá) válik. A semleges molekulák (atomok) visszatérnek a gázba, a szabad elektronok pedig az anódhoz vonzódnak és ott elnyelődnek.

Ha „működik" az ionizátor, a gázban folyamatosan új ionok keletkeznek. Az ionizátor működésének megszűntével a gázban rohamosan csökken a szabad töltéshordozók száma és a gáz a továbbiakban nem vezető.

## 4 Megismerkedünk az elektron ütközéses ionizációjával

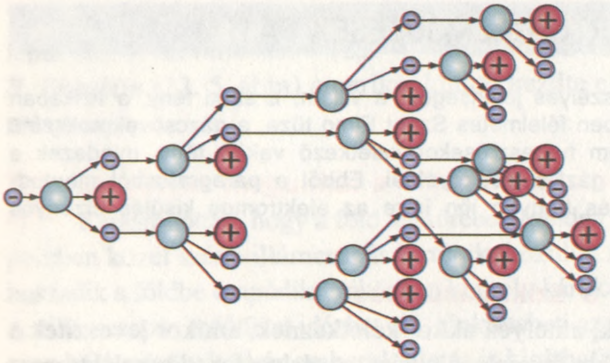
Bizonyos feltételek mellett a gáz vezetheti az elektromos áramot az ionizátor hatásának megszűnése után is.

Az olyan gázkisülést, ami a külső ionizátor hatása nélkül is végbemegy, **önfenntartó vagy önálló gázkisülésnek** nevezzük.

Áttekintjük, hogyan megy végbe az önálló gázkisülés.

Képzeljük el, hogy a szabad elektron az elektromos tér hatására a katódtól az anód felé halad. A mozgás során az elektron sebessége folyamatosan nő (ahhoz hasonlóan, ahogyan a szabadon eső kő sebessége nő a Föld gravitációs terének hatására). Ezzel együtt útja során az elektron a gázrészecskékkel (atomokkal, molekulákkal, ionokkal) ütközik és veszít a sebességéből. Ha az ütközések közötti szakaszokban az elektron nagy sebességre, tehát nagy kinetikus energiára képes szert tenni, akkor semleges molekulával vagy atommal ütközve elektront képes kiütni onnan, más szóval *ionizálhatja* azokat. Tehát az atom vagy molekula ionizálásának eredményeként pozitív ion és még egy elektron keletkezik. Az ilyen ütközések sorozata *elektronlavinát* okoz (21. 5. ábra). A leírt folyamatot *ütközéses ionizációnak* vagy *elektronütközéses ionizáció*nak nevezzük.

Az ütközéses ionizáció következtében keletkezett szabad elektronok az anód felé haladnak és végezetül ott elnyelődnek. Azonban a gázkisülés nem szűnik meg, ha benne új elektronok jelennek meg. Az új elektronok egyik forrása a katód felülete lehet. A helyzet az, hogy az ütközéses ionizáció során képződött pozitív ionok a katód felé tartanak és újabb elektronokat ütnek ki belőle. Más szavakkal, a katód pozitív ionokkal való bombázásának eredményeként a katód felületéről *elektronemisszió* megy végbe.



**21. 5. ábra.** Elektronlavina keletkezésének vázlatrajza. Az elektromos tér által felgyorsított szabad elektron ionizálja a molekulát vagy az atomot és még egy elektront szabadít fel. A 2 elektron felgyorsul és újabb 2 elektront szabadít fel. Így már 4 elektron tart az anód felé. Ezután a szabad elektronok száma 8, 16, 32, stb. lesz. A szabad elektronok számának lavinaszerű növekedése egészen addig tart, amíg el nem érik az anódot

## 5 Tisztázzuk, milyen feltételek mellett lehetséges az elektronütközéses ionizáció

Az elektronnak elég nagy energiára van szüksége ahhoz, hogy a semleges atomokkal vagy molekulákkal való ütközése következtében elektront üssön ki belőlük. Ez két esetben lehetséges: ha sokáig gyorsul, vagy nagy sebességgel gyorsul.

Normál légnyomáson az elektron nagyon gyakran ütközik, ezért annak az *elektromos térnek*, amelyben mozog, *elég erősnek kell lennie* ahhoz, hogy az elektron az ionizációhoz szükséges energiára tegyen szert az ütközések közötti rövid időben.

Ha *a gáz eléggé ritkított*, akkor jelentősen megnő az ütközések közötti idő, és az elektron gyengébb térben is szert tesz a molekulák ionizálásához szükséges energiára.

## ! Összegzés

Közönséges körülmények között a gáz gyakorlatilag nem tartalmaz szabad töltéssel rendelkező részecskéket, ezért nem vezeti az elektromos áramot. Ahhoz, hogy a gáz vezesse az elektromos áramot, valahogyan ionizálni kell. Azt a folyamatot, amikor az elektromosan semleges atomokból és molekulákból pozitív és negatív ionok keletkeznek, valamint szabad elektronok válnak ki, ionizációnak nevezzük.

Az elektromos áram a gázokban nem más, mint a szabad elektronok, pozitív és negatív ionok irányított mozgása.

Az olyan gázkisülést, ami csak a külső ionizátor jelenlétében működik, nem önfenntartó gázkisülésnek nevezzük. Az olyan gázkisülést, ami a külső ionizátor hatása nélkül is végbemegy, önfenntartó gázkisülésnek nevezzük. Ez a fajta gázkisülés az ütközéses ionizáció, vagy a katódról történő elektronemisszió révén jöhet létre.

## ? Ellenőrző kérdések

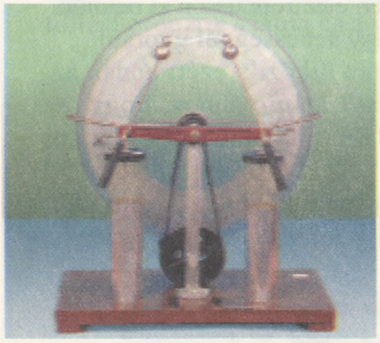
1. Miért nem vezeti közönséges körülmények között a gáz az áramot? 2. Mit nevezünk ionizált gáznak? 3. Mit nevezünk ionizációnak? 4. Milyen gázkisülést nevezünk önfenntartónak? 5. Miért gyengül rohamosan a nem önfenntartó gázkisülés az ionizátor hatásának megszűnését követően? 6. Mit nevezünk nem önfenntartó gázkisülésnek? 7. Írjátok le az ütközéses ionizáció mechanizmusát! 8. Az ütközéses ionizáción kívül milyen más módszerrel pótolható a szabad elektronok hiánya az önfenntartó gázkisülés során?

## 22. §. AZ ÖNFENNTARTÓ GÁZKISÜLÉSEK FAJTÁI

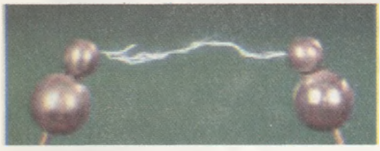
A fényes és néha veszélyes jelenségek: a villám, a sarki fény, a fizikában járatlan ember szemében félelmetes Szent Elmo tüze, a gázcsövek sokszínű fénykibocsátása, a fém hegesztésekor keletkező vakító fény, mindezek a jelenségek az önálló gázkisülések példái. Ebből a paragrafusból megtudhatjátok, mitől függ, és hogyan jön létre az elektromos kisülés bizonyos típusa a gázokban.

### 1 Megismerkedünk a szikrakisüléssel

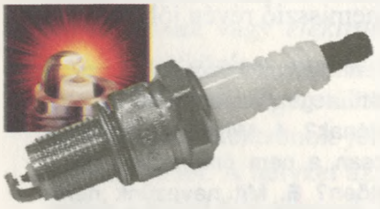
Azok az apró szikrák, amelyek akkor keletkeznek, amikor leveszitek a műszálas szvettert, a zivatarkor megjelenő villám, az elektrofor (dörzselektromos gép) (22. 1. ábra) feltöltött vezetői között jelennek meg, mindezek a jelenségek a szikrakisülés példái.



**22. 1. ábra.** A dörzselektromos gép vezetőgömbjei közötti szikrakisülés



**22. 2. ábra.** A szikrakisülés



**22. 3. ábra.** A gyújtógyertya elektródjai közötti elektromos feszültség 12–15 ezer volt

A szikrakisülés olyan élesen fénylő cikkcakkos csíkra hasonlít, amelyek gyakran elágaznak (22. 2. ábra). Mindössze néhány tized mikromásodpercig tart és általában bizonyos hanghatás kíséri (recsegés, reccsenés, dörgés stb.). Ez azért következik be, mert a gáz hőmérséklete, ezzel együtt pedig a nyomása is hirtelen megnő a *kisülési csatornában*, ennek eredményeként a levegő gyorsan kitágul, és hanghullámok jönnek létre.

A technikában a szikrakisülést például a benzinmotorok gyújtógyertyájában (22. 3. ábra), vagy a különösen kemény fémek felületének megmunkálására alkalmazzák.

A hatalmas szikrakisülés példája a természetben a villám.

A tudományos vizsgálatok kimutatták, hogy zivatar közben a felhőben a töltések szétválnak és felhalmozódnak. Ennek következtében a felhő egyes részei más-más előjelű töltéseket tartalmaznak. Ha két különböző előjelű töltéssel rendelkező felhő kerül egymás közelébe, akkor a feszültség közöttük, akárcsak a felhő és a Föld között, néhány száz millió volt is lehet. A kisülést kísérő ütközéses ionizáció és az ionizációs sugárzás következtében a felhők közötti elektromos térben lavinaszerűen megjelennek a szabad ionok és elektronok. Más szóval, rövid időtartamú önálló gázkisülés – villám – keletkezik. Az áramerősség a villámcsatornában több százezer amper lehet.

A villám elektromos tulajdonságait egymástól függetlenül *M. V. Lomonoszov* (22. 4. ábra) orosz tudós és *B. Franklin* (22. 5. ábra) amerikai kutató kezdte el tanulmányozni.

**22. 4. ábra.** Mihail Vasziljevics Lomonoszov (1711–1765) kiemelkedő orosz tudós; a fizikai kémia egyik megalapítója; költő, művész, történész

**22. 5. ábra.** Benjamin Franklin (1706–1790) amerikai tudós, kiemelkedő államférfi. A légköri elektromosság egyik első kutatója, ő fejlesztette ki a villámhárítót

## 2 Megóvjuk magunkat a villámcsapástól

Kiszámították, hogy a föld légkörében minden másodpercben közel száz villámcsapás történik, közülük minden huszadik a földbe csapódik, miközben komoly károkat okoz. A villámcsapás erdőtüzet idézhet elő, tönkreteheti az elektromos hálózatot, sőt akár emberek életét is kioltathatja.

Ahhoz, hogy ne váljunk villámcsapás áldozatává, emlékezni kell arra, hogy a villám leggyakrabban a kiemelkedő, magas tárgyakba csap bele, ezért be kell tartani a következő **szabályokat**.

- Ha a mezőn ér bennünket a zivatar, nem szabad elfutni előle, ellenkezőleg, legjobb, ha lekucorodunk, leguggolunk, hogy ne emelkedjünk ki a környezetből.
- Az erdőben nem szabad a magas, a mezőn pedig az egyedül álló fák vagy a szénakazlak alá bújni a zivatar elől, még akkor sem, ha nagyon megbízható menedéknek tűnnek.
- Zivatarban tilos a nyíltvízi fürdőzés, a magas hegyekben pedig célszerű barlangba vagy valamilyen kiszögellés alá bújni.
- Zivatarban nem szabad papírsárkányt eregetni: a nedves zsinór elektromos vezetővé válik, és a villám belecsaphat a sárkányba. A töltések az ember kezén és testén áthaladva a földbe jutnak. Egyébként éppen így vesztette életét kísérletezés közben M. V. Lomonoszov orosz tudós kollégája, *G. W. Richmann* (22. 6. ábra).

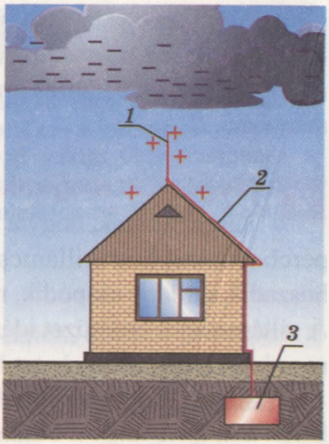
## 3 Megismerkedünk a koronakisüléssel

Zivatar előtt vagy alatt a tárgyak hegyes kiszögelésein néha gyenge, korona formájú lila fénysugárzás látható. Ezt az úgynevezett ***koronakisülést*** a feltöltött vezetők hegyes csúcsain, élein kialakuló elektromos térerősség idézi elő (22. 7. ábra). Tisztázzuk, mikor és hogyan jön létre.

A Föld felszínén a zivatarfelhő elektromos terének hatására töltések halmozódnak fel (indukálódnak), amelyek előjele ellentétes a felhő töltésével. Ezek a töltések különösen sűrűn helyezkednek el a tárgyak hegyes csúcsain

**22. 6. ábra.** Georg Wilhelm Richmann tragikus halála 1753. augusztus 6-án (metszet)

**22. 7. ábra.** „Szent Elmo tüze", a hajóárbocok hegyes végei körül kialakult koronakisülés sok évszázadon keresztül rémisztette a tengerészeket, akik nem tudták megmagyarázni a jelenség természetét




**22. 8. ábra.** Villámhárító: *1* hegyes fémrúd; *2* vastag huzalból készült vezető; *3* mélyen a földbe ásott fémtárgy

(lásd a 22. 7., 22. 8. ábrákat). Ennek eredményeként az elektromos tér annyira erőssé válik a csúcs, kiszögelés környékén, hogy a töltés „elfolyik" a csúcsról, ionizálva a környező levegőt. Mivel a tér csak a csúcsokon erős, ezért a koronakisülés csak ezeken a részeken figyelhető meg. A koronakisülés létrejöttén alapul a *villámhárító* működése. A villámhárító egy hegyes fémrúd, amit vastag vezető kapcsol egy fémtárgyhoz (lásd a 22. 8. ábrát). A rudat az épület legmagasabb pontja fölött rögzítik, a fémtárgyat pedig a talajvíz szintjén beássák a földbe. Zivatar közben a villámhárító végén koronakisülés jön létre. Ennek eredményeként a töltés nem gyűl össze az épületen, hanem lefolyik a villámhárító csúcsáról.

### 4 Megfigyeljük az ívkisülést

1802-ben *Vaszil Vlagyimirovics Petrov* (1761–1834) orosz fizikus elvégezte a következő kísérletet. Két szénelektródot kapcsolt egy nagy elektromos akkutelephez, az elektródokat összeérintette, majd kissé eltávolította egymástól. Az elektródok végei között a tudós fényes, ívszerű lángot figyelt meg, miközben a végek vakító fehér fényt kibocsátva, felforrósodtak. Így sikerült létrehozni az önfenntartó gázkisülés egy újabb fajtáját, az ***ívkisülést (elektromos ívet)*** (22. 9. ábra). Tisztázzuk a jelenség létrejöttének az okát.

Az érintkező elektródok zárt áramkört alkotnak és rajta elég erős áram folyik át. Az érintkezés helyén legnagyobb a kör ellenállása, tehát Joule–Lenz

törvényének megfelelően itt válik ki a legtöbb hő. Az elektródok vége 3000–4000 °C-ra hevül, és a katód felületéről elektronok „párologtak" el. Ezért, még ha szétválasztjuk is az elektródokat, a közöttük lévő térben elegendő szabad töltéssel rendelkező részecske marad (a katódról kiváló szabad elektronok, valamint a magas hőmérséklet következtében ionizálódott gázban keletkezett ionok). Ennek eredményeként az elektródok közötti térrészben áram folyik, önfenntartó gázkisülés jön létre. A továbbiakban a katód és az anód magas hőmérsékletét az elektródok pozitív és negatív ionok általi, valamint az elektromos tér által felgyorsított elektronok bombázása tartja fenn.

**22. 9. ábra.** Ívkisülés

Az ívkisülés során ionizált gáz magas hőmérséklete, valamint az ezt kísérő fénysugárzás teszi lehetővé az elektromos ív széleskörű elterjedését a tudományban, a technikában és az iparban. Az elektromos ív a fényszórókban nagyteljesítményű fényforrásként működik. A fémkohászatban széles körben alkalmazzák az ívkisüléses kemencéket; az elektromos ív hőjével hegesztenek stb. (22. 10. ábra).

**22. 10. ábra.** Az ívkisülés alkalmazása fémek olvasztására (*a*) és hegesztésére (*b*)

## 5 Tisztázzuk a parázsfény gázkisülés létrejöttének feltételeit

*Alacsony*, néhány tized- vagy század higanymilliméter, *nyomáson* megfigyelhető a ritkított gáz fénykibocsátása, a ***parázsfény kisülés***. Ilyen alacsony nyomáson a molekulák közötti távolság elegendő ahhoz, hogy még gyenge elektromos térben is nagy sebességre tegyen szert az elektron, tehát az ütközéses ionizációhoz elégendő energiát kapjon.

A parázsfény kisülést használják a fénycsövekben, a kompakt fénycsövekben, a kvantum fényforrásokban – a gázlézerekben.

Az utóbbi időben terjednek a plazmaképernyős televíziók (az ilyen képernyők működése az elektromos gázkisüléseken alapul). A plazmapanelen lévő pixelek a fénycsövekhez hasonlóan működnek.

## Összegzés

A gáz nyomásától és hőmérsékletétől, ionizációjának módjától, a feszültség értékétől, a gázkisülést kísérő fénykibocsátás jellegétől függően négyféle önálló gázkisülést különböztetnek meg.

A légköri nyomás és nagyfeszültség mellett az elektródok között szikrakisülés megy végbe, ami cikkcakkosan elágazó, élesen fénylő csíkokra hasonlít. A gigantikus méretű szikrakisülés példája a villám. A villámcsapás halálos kimenetelű is lehet, ezért szigorúan be kell tartani a biztonsági előírásokat.

Az erős elektromos térben a tárgyak hegyes csúcsai közelében létrejövő önfenntartó gázkisülést koronakisülésnek nevezzük.

Nagyon magas hőmérsékleten az egymástól kissé eltávolított elektródok között gázkisülés jön létre, amit igen fényes, ívszerű fénykibocsátás kísér, ez az ívkisülés.

Alacsony (néhány tized- és század higanymilliméter) nyomáson megfigyelhető a ritkított gázok fénykibocsátása a parázskisülés révén.

## Ellenőrző kérdések

1. Soroljátok fel az önálló gázkisülések alapvető fajtáit! 2. Hozzatok fel példákat a szikrakisülésre! Milyen feltételek mellett jön létre? 3. Mi a villám? Mikor és miért jön létre? 4. Nevezzétek meg azokat a fő biztonsági szabályokat, amelyeket zivatar alkalmával be kell tartani! 5. Mi a koronakisülés? 6. Milyen jellegzetességekkel bír az ívkisülés? 7. Hol alkalmazzák az elektromos ívet? 8. Milyen feltételek mellett alakul ki a parázsfény kisülés? Hol alkalmazzák?

### A FIZIKA ÉS TECHNIKA UKRAJNÁBAN

**Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia J. O. Paton Villamoshegesztési Intézet** (Kijev)

Gyakorlatilag minden nap találkozunk az ívkisüléssel vagy annak következményeivel. Ezek az építők kezében a nap fényével vetekedő elektromos hegesztők, vagy a megszokott, ajtóhoz hegesztett pántok az otthonotokban. Éppen a hegesztés miatt terjedt el ilyen széles körben az ívkisülés néven ismert fizikai jelenség. Ukrajna vitán felüli világtekintélyét ezen a területen a J. O. Paton Villamoshegesztési Intézet tudósainak munkái teremtették meg. A posztszovjet térség számos országában láthatók a T-34 típusú tankoknak emelt emlékművek. Ezek voltak a II. világháború legjobb tankjai. Ezt az elismerést nagyrészt az akkoriban teljesen újnak számító páncéllemez-hegesztési módszer miatt kapta, amit az intézet alapítója és első igazgatója, *Jevhen Oszkarovics Paton* akadémikus dolgozott ki.

A képen az ismert kijevi Paton híd látható, ami teljesen ívhegesztéssel készült. Ezt a hidat az amerikai hegesztők társasága a XX. század kiemelkedő szerkezetének ismerte el.

Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia elnöke *Borisz Jevhenovics Paton*, az intézet jelenlegi vezetője méltóképpen folytatja édesapja hagyományait. Vezetése alatt nem csak egyszerű hegesztési eszközök készülnek az ipar számára, a legújabb technológiákat használják a világűrben, sőt az élő szövetek összeforrasztására is.

# 23. §. ELEKTROMOS ÁRAM A FÉLVEZETŐKBEN

?! Aki televíziót néz, számológépen számol, vagy számítógépet használ, telefonál, nemigen gondolkodik el azon, hogy milyen ezeknek az eszközöknek a felépítése. Egyiküket sem lehetett volna létrehozni, ha a tudósok nem kutatják, a mérnökök pedig nem alkalmazzák a *félvezetőket* (23. 1. ábra). Az alábbiakban megismerkedünk a félvezetők vezetési mechanizmusának sajátosságaival.

**23. 1. ábra.** Rengeteg korszerű villamos eszköz működése a félvezető eszközöknek köszönheti létét

## 1 Felidézzük, mik is a félvezetők

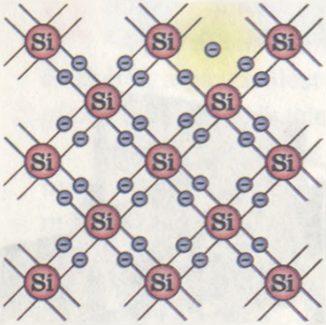
A félvezetők, amint azt a nevük is mutatja, olyan anyagok, amelyek vezetőképessége a vezetők és a szigetelők vezetőképessége között helyezkedik el. Ha a vezetők fajlagos ellenállása $10^{-8}\ \Omega \cdot m$ nagyságrendű, a szigetelőké $10^{12}\ \Omega \cdot m$ és $10^{20}\ \Omega \cdot m$ közé esik, addig a félvezetőké $10^{-4}\ \Omega \cdot m$ és $10^{7}\ \Omega \cdot m$ közötti. Az anyag belső szerkezetére nézve ez azt jelenti, hogy a szabad töltéshordozók koncentrációja a félvezetőkben sokkal kisebb, mint a vezetőkben, ugyanakkor sokkal nagyobb, mint a szigetelőkben. Az egyik legelterjedtebb félvezetőben, a germániumban, szobahőmérsékleten nagyságrendileg $10^{20}$ szabad töltés van 1 $m^3$ anyagban. Olybá tűnhet, hogy ez nagyon sok. De ez tízmilliárdszor kevesebb, mint a vezetőkben.

A félvezetők fizikai tulajdonságainak tanulmányozása során kiderült, hogy a félvezetők olyan anyagok, amelyek tulajdonságai, a fémekkel ellentétben, jelentősen megváltoznak a külső körülmények változásával.

Először is a fémek ellenállása a hőmérséklet növekedésével növekszik, míg a félvezetőké csökken. Másodsorban a félvezetők ellenállása a megvilágítás növekedésével csökken, míg a fémek ellenállására a megvilágítás változása nincs hatással. Végül a szennyezett (adalékot tartalmazó) vezetők rosszabbul vezetik az áramot, mint a tiszták, míg félvezetők esetében a szennyezés csökkenti az ellenállást. Léteznek ezeken kívül egyéb, nem kevésbé érdekes különbségek is, amelyekről a későbbiekben még szó esik.

## 2 Megismerkedünk a félvezetők belső szerkezetével

Derítsük ki, hogy a félvezetőkben milyen részecskék vezetik az elektromos áramot, hogy kerülnek ezek a részecskék a félvezetőkbe, és milyen tényezők befolyásolják a szabad töltéshordozók koncentrációját. E célból vizsgáljuk meg a tiszta (adalékoktól mentes) félvezetők belső szerkezetét a szilícium példáján.




**23. 2. ábra**. A szilícium kovalens kötéseinek vázlatos ábrázolása

A Mengyelejev-féle periódusos rendszerben a szilícium rendszáma 14 és a negyedik csoporthoz tartozik. Mint a csoporthoz tartozó valamennyi elemnek, a szilíciumnak is 4 vegyértékelektronja van. Ezek a vegyértékelektronok hozzák létre a szomszédos atomokkal való kémiai kötést. A szilárd állapotú szilícium szerkezetében minden atom négy szomszédos atommal alkot kötést.

A szilíciumatomok mintegy „kölcsönadják" egy-egy vegyértékelektronjukat a szomszédos atomoknak. A szomszédos atomok ezt a saját egy-egy vegyértékelektronjukkal „viszonozzák". Ezek az elektronok mintegy közös használatba kerülnek, vagyis a szomszédos szilíciumatomoknak van egy közös elektronpárja. A kémiában az ilyen kötést *kovalens* vagy *elektronpár* kötésnek nevezik (23. 2. ábra).

### 3 Megmagyarázzuk a félvezetők vezetési mechanizmusát

A félvezető-kristály vegyértékelektronjai között mindig vannak olyanok, amelyek energiája elegendő ahhoz, hogy kiszakadjanak a kötésből és szabad töltéshordozóvá váljanak.

Ha a félvezetőt elektromos térbe helyezzük, a szabad elektronok a pozitív pólus irányába fognak mozogni, ilyen módon a félvezetőben elektromos áram fog folyni.

A hőmérséklet növekedésekor az elektronok átlagos kinetikus energiája növekszik, ezért egyre több szabad elektron keletkezik. Ezért, bár a kristályrács erősödő rezgései gátolják a töltéshordozók mozgását, a félvezető ellenállása csökken.

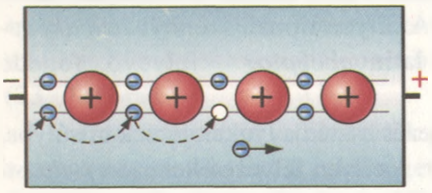
A félvezetőkben a szabad elektronok által biztosított vezetési mechanizmust *elektronvezetésnek*, a szabad elektronokat pedig *vezetési elektronoknak* nevezzük.

Amikor egy elektron kilép a kovalens kötésből, akkor ebben a kötésben egy elektron helye is szabaddá válik. Az ilyen elektronhiányos kötést *lyuknak* nevezzük. A *lyukak természetesen pozitív töltéssel rendelkeznek.*

A keletkezett szabad helyre átugorhat valamely szomszédos kötés elektronja, ekkor a lyuk mintegy „átvándorol" ennek helyére. Az ilyen átugrások eredményeképpen a lyuk képes mozogni a kristályon belül. (Ténylegesen, ahogy azt a 23. 3. ábrán láthatjuk, nem a lyukak mozognak, hanem a kötött vegyértékelektronok.)

A félvezetőkben a lyukak mozgása által létrehozott áramvezetési mechanizmust *lyukvezetésnek* nevezzük.

A tiszta félvezetőkben a vezetésben egyenlő mennyiségű elektron és lyuk vesz részt. Az ilyen áramvezetés a *félvezető sajátvezetése.*

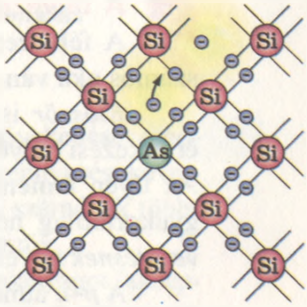


**23. 3. ábra.** A lyukvezetés létrejötte a félvezetőkben. Piros körök – a kristályrács ionjai; kék körök – kötött elektronok; fehér kör – elektronhiányos hely (lyuk). Elektromos tér hatására a kötött elektronok a tér pozitív pólusa felé vándorolnak, elfoglalva a szomszédos atomban meglévő lyukakat. Ez úgy tűnhet, mintha a lyuk mozogna a negatív pólus felé

## 4 Tanulmányozzuk a félvezetők szennyezéses vezetését

Az eddigiekben a tiszta félvezetők elektromos vezetését tanulmányoztuk. Az ilyen félvezetőkben a szabad elektronok száma megegyezik a lyukak számával. Ha azonban a tiszta félvezetőbe csekély mennyiségű szennyezőanyagot juttatunk, jelentős változást tapasztalhatunk.

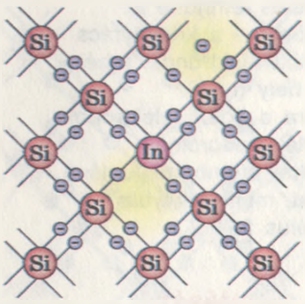
Ha például a tiszta olvadt szilíciumba csekély mennyiségű arzént adagolunk, akkor a kristályosodás során olyan rács jön létre, amelynek egyes rácspontjaiban szilícium helyett arzén található (23. 4. ábra). Az arzén azonban 5 vegyértékű. Ezek közül négy kovalens kötést alkot a szomszédos szilíciumatomokkal. Az ötödik vegyértékelektron azonban nem vesz részt kémiai kötésben, gyengébben kötődik az arzénatomhoz és könnyen válik szabad töltéshordozóvá. Végeredményben a *szennyezés minden atomja* egy szabad elektront szolgáltat anélkül, hogy eközben lyuk keletkezne. Az elektronjukat könnyen leadó szennyezést *donorszennyezésnek* nevezzük (a latin *donare* – ajándékozni, adományozni szóból).




**23. 4. ábra.** Az arzénnal szennyezett szilícium szerkezete. Az arzén ötödik vegyértékelektronja nem vesz részt kötésben és könnyen szabaddá válik

Megjegyezzük, hogy a szennyezések által szolgáltatott vezetési elektronokon kívül a félvezetőben jelen vannak a sajátvezetést létrehozó elektronok és lyukak. A donorszennyeződést tartalmazó félvezetőkben tehát sokkal magasabb a szabad elektronok koncentrációja, mint a lyukaké. A fő töltéshordozók az ilyen félvezetőben negatív töltésűek. Ezért a donorszennyezést tartalmazó félvezetőket *n-típusú* (a latin *negativus*-ból) félvezetőnek is nevezik.

Ha a szilíciumba kis mennyiségű 3 vegyértékű szennyezést – például indiumot – juttatunk, a vezetés jellege megváltozik. Mivel az indiumatom csak három vegyértékelektronnal rendelkezik, csak három szomszédos szilíciumatommal képes kovalens kötést alkotni (23. 5. ábra). A negyedik kötés létrehozásához az indiumban már nincs elég elektron, ezért a szomszédos szilícium-




**23. 5. ábra.** Az indiummal szennyezett szilícium szerkezete. Minden indiumatom egy lyukat hoz létre

atomoktól „kölcsönzi" azt. Végül is minden szennyező atom egy lyukat hoz létre. Az ilyen típusú szennyezést *akceptorszennyezésnek* (a latin *acceptor* – felvevő, fogadó szóból) nevezzük.

Akceptorszennyezés esetén a lyukak jutnak túlsúlyba, amelyek töltése pozitív. Az ilyen félvezetőket ezért *p-típusú* (a latin *positivus*-ból) félvezetőnek is nevezik.

Mivel a szennyezés minden esetben növeli a szabad töltéshordozók mennyiségét (minden szennyező atom egy elektron vagy egy lyuk létrejöttéhez vezet), a szennyezet félvezetők vezetőképessége lényegesen magasabb, mint a tiszta félvezetőké.

## 5 A félvezetők alkalmazása

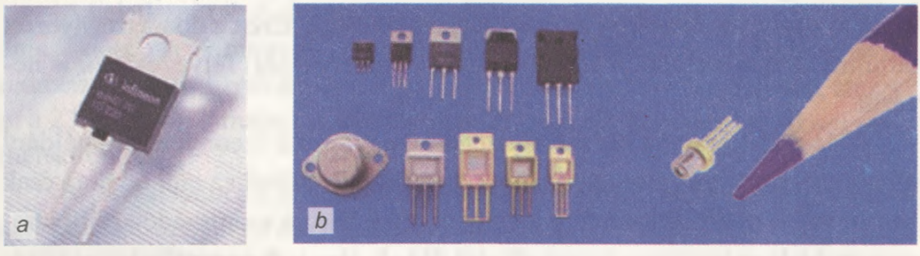
A félvezető eszközök alkalmazása manapság igen elterjedt, aminek számos oka van.

*Először* is a *p–n átmeneten*, azaz egy *p*- és egy *n*-típusú félvezető érintkezési helyén megfigyelhető igen érdekes és jól hasznosítható jelenség. Az ilyen átmenet jól vezeti az elektromos áramot az egyik irányban és gyakorlatilag nem vezeti a másikban. Ezt a jelenséget *egyirányú áramvezetésnek* nevezzük.

A *p–n* átmenet tulajdonságai képezik a félvezető diódák és tranzisztorok működésének alapját, amely eszközök nélkül egyetlen modern elektronikai eszköz sem létezne (23. 6. ábra). A napenergiát közvetlen elektromos árammá alakító napelemek létrehozását ugyancsak a *p–n* átmeneteknek köszönhetjük.

Fontos megjegyeznünk, hogy a félvezetők műszaki alkalmazása 99%-ban a *p–n* átmeneten végbemenő jelenségeknek köszönhető. Ezekkel a jelenségekkel részletesebben későbbi tanulmányaitok során ismerkedtek meg.

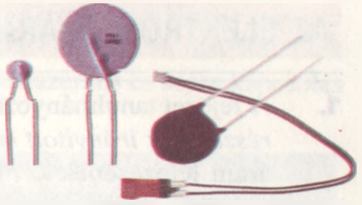
*Másodszor*, a félvezetők ellenállása erősen függ a hőmérséklettől. A hőmérséklet emelkedésével a félvezető ellenállása csökken. És fordítva. Ez az




**23. 6. ábra.** A modern elektronikai eszközök alapeleme a félvezető dióda (*a*) és a tranzisztor (*b*)

összefüggés magyarázza a *termisztorok* működését, amelyeket elektronikus hőmérőkben, továbbá automatikus hőmérséklet-szabályozókban alkalmaznak. (23. 7. ábra).

*Harmadsorban* a félvezetők ellenállása függ a megvilágítástól. Ezt a jelenséget hasznosítják a *fényellenállásokban*, amelyek a megvilágítás mérésére és felületek minőségének ellenőrzésére szolgáló műszerek legfontosabb alkatrészei (23. 8. ábra).



**23. 7. ábra.** Néhány termisztor

**23. 8. ábra.** Néhány gyakorlatban alkalmazott fényellenállás

## Összegzés

A félvezetőkben a szabad elektronok (elektronvezetés) és a lyukak (lyukvezetés) mozgása hozza létre az elektromos áramot. Tiszta félvezetőkben az elektromos áram továbbításában egyenlő számú szabad elektron és lyuk vesz részt. Az ilyen vezetési mechanizmust sajátvezetésnek nevezzük.

A félvezetők szennyezése a vezetőképesség jelentős növekedését eredményezi. Amennyiben a félvezetőkhöz nagyobb vegyértékű szennyezést kevernek (donorszennyezés), a szabad elektronok száma a lyukak számának többszöröse lesz. Az ilyen félvezetőt *n*-típusú félvezetőnek nevezzük.

Amennyiben a félvezetőhöz kisebb vegyértékű szennyezőanyagot (akceptorszennyezés) adagolnak, a lyukak száma a szabad elektronok számának többszöröse lesz. Az ilyen félvezetőt *p*-típusú félvezetőnek nevezzük.

A félvezetőket széles körben alkalmazzák, főként diódák, tranzisztorok, fényellenállások, termisztorok előállítására.

## Ellenőrző kérdések

**1.** Miben különböznek a félvezetők a fémektől? **2.** Milyen kémiai kötést nevezünk kovalensnek? **3.** Miképpen keletkeznek a tiszta félvezetőkben a szabad elektronok? **4.** Magyarázzátok el a lyukvezetés mechanizmusát! **5.** Mit értünk a félvezetők sajátvezetése alatt? **6.** Miért függ a félvezető vezetőképessége a szennyezésektől? **7.** Milyen szennyezést nevezünk donorszennyezésnek? **8.** Nevezzétek meg az *n*-típusú félvezetők töltéshordozóit! **9.** Vannak-e az *n*-típusú félvezetőkben lyukak? **10.** Mivel kell szennyezni a félvezetőt, hogy *p*-típusú félvezetőt kapjunk? **11.** Mivel magyarázható a félvezetők széles körű elterjedtsége?. **12.** Hol alkalmazzák a félvezetőket?

# AZ ELEKTROMOS ÁRAM CÍMŰ FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA

**1.** A fejezet tanulmányozása során megtudtuk, hogy *az elektromos áram töltött részecskék irányított mozgása* és meggyőződtünk arról, hogy az elektromos áram létezésének *két feltétele* van.

**AZ ELEKTROMOS ÁRAM LÉTEZÉSÉNEK FELTÉTELEI**

- **Elektromosan töltött szabad részecskék jelenléte**
- **Elektromos tér jelenléte**

**2.** Megállapítottuk, hogy az elektromos áram létezését *annak hatásairól* ismerjük meg, valamint hogy az elektromos teret az *áramforrások* hozzák létre.

- A töltött részecskék irányított mozgása során az elektromos tér energiája más energiafajtákká alakul át. Ez az elektromos áram hatásainak fizikai alapja.

**AZ ELEKTROMOS ÁRAM HATÁSAI**

- **Hőhatás**
- **Mágneses hatás**
- **Vegyi hatás**
- **Fényhatás**

- Az áramforrás belsejében a nem elektromos erők munkát végeznek a töltések szétválasztása közben. Ennek során különböző energiafajták alakulnak át az elektromos tér energiájává.

**AZ ELEKTROMOS ÁRAMFORRÁSOK**

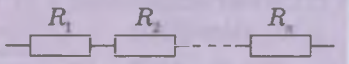
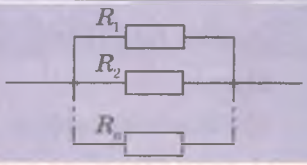
- **Mechanikai**
- **Vegyi**
- **Hő**
- **Fényelektromos**

**3.** Megismerkedtünk az áramkört vagy annak egy szakaszát jellemző fizikai mennyiségekkel és az azok között fennálló összefüggésekkel.

| Fizikai mennyiség | Jele | Mértékegysége | Kiszámítására szolgáló képlet | Mérésre szolgáló műszer |
|---|---|---|---|---|
| Áramerősség | $I$ | A (amper) | $I = \frac{q}{t}$ | Ampermérő |
| Feszültség | $U$ | V (volt) | $U = \frac{A}{q}$ | Voltmérő |
| Ellenállás | $R$ | Ω (ohm) | $R = \rho \frac{l}{S}$ | Ohmmérő |

**OHM TÖRVÉNYE AZ ÁRAMKÖR SZAKASZÁRA: $I = U/R$**

**4.** Megismerkedtünk az áramkör elemeinek kapcsolási módjaival, megtanultunk áramköröket összeállítani és meghatároztuk a párhuzamos és soros kapcsolás törvényeit.

| Fizikai mennyiség | Kapcsolás módja | |
|---|---|---|
| | Soros | Párhuzamos |
| |  |  |
| Áramerősség | $I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n$ | $I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$ |
| Feszültség | $U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$ | $U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n$ |
| Ellenállás | $R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$ | $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$ |

**5.** Felidéztük, hogy az energiaváltozás munkavégzéssel jár. Megtanultuk az elektromos áram munkájának és teljesítményének kiszámítására szolgáló képleteket. Megismertük az áramjárta vezetőben felszabaduló hőmennyiség képletét.

| Az áram munkája | Az áram teljesítménye | Hőmennyiség |
|---|---|---|
| $A = UIt$ | $P = UI$ | $Q = I^2Rt$ Joule–Lenz törvénye |

**6.** Megtudtuk, hogy az anyagokat vezetőkre, félvezetőkre és szigetelőkre oszthatjuk és megismerkedtünk az elektromos áram természetével különböző közegekben.

**ELEKTROMOS ÁRAM KÜLÖNBÖZŐ KÖZEGEKBEN**

| Fémek | Folyadékok | Gázok | Félvezetők |
|---|---|---|---|
| A szabad elektronok irányított mozgása | Az elektrolitikus disszociáció révén keletkezett szabad ionok irányított mozgása | Az ionizáció révén keletkezett szabad elektronok és ionok irányított mozgása | A szabad elektronok és lyukak irányított mozgása |

$m = kq = kIt$ **az elektrolízis törvénye;**
$k$ az anyag elektrokémiai egyenértéke

## ELLENŐRZŐ FELADATOK A 2. FEJEZETHEZ

### 1. rész. Ármerősség. Feszültség. Ellenállás. Vezetők párhuzamos és soros kapcsolása

*Az 1–11. feladatok feleletei között csak egy helyes megoldás van.*

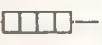
**1.** (*1 pont*) Az 1. ábrán egy fogyasztó áramköri jelét láthatjuk. Ez egy:

**a)** izzó; **c)** ellenállás;

**b)** elektromos csengő; **d)** reosztát.

1. ábra

**2.** (*1 pont*) Melyik az ellenállás áramköri jele?

**a)**  **b)** **c)**  **d)**

**3.** (*1 pont*) A galvánelemben a következő energiaátalakulások mennek végbe:

**a)** mechanikai energia vegyi energiává alakul;
**b)** vegyi energia elektromos energiává alakul;
**c)** elektromos energia belső energiává alakul;
**d)** belső energia elektromos energiává alakul.

**4.** (*1 pont*) A voltmérő olyan műszer, amely:

**a)** az áramerősség;
**b)** a feszültség;
**c)** az ellenállás;
**d)** a fajlagos ellenállás mérésére szolgál.

**5.** (*1 pont*) Az áramerősség az áramkör egy szakaszán:

**a)** egyenesen arányos a szakasz ellenállásával;
**b)** fordítottan arányos a szakasz végein mért feszültséggel;
**c)** egyenesen arányos a szakasz végein mért feszültséggel;
**d)** nem függ a szakasz ellenállásától.

**6.** (*2 pont*) A voltmérő ellenállása 12 kΩ. Mennyi a voltmérőn áthaladó áram erőssége, ha a voltmérő 12 V feszültséget mutat?

**a)** 0,001 A; **b)** 1 A; **c)** 144 A; **d)** 1000 A.

**7.** (*2 pont*) A mosógép melegítőjének spirálján 5 A erősségű áram folyik. Mekkora töltésmennyiség halad át a spirál keresztmetszetén 0,5 perc alatt?

**a)** 2,5 C; **b)** 6 C; **c)** 10 C; **d)** 150 C.

**8.** (*2 pont*) Az izzó lámpafején a következő felirat olvasható: 4,4 V, 0,22 A. Mekkora az izzószál ellenállása, amikor a zseblámpa világít?

**a)** 0,05 Ω; **c)** 20 Ω;
**b)** 0,968 Ω; **d)** ezekből az adatokból nem lehet meghatározni.

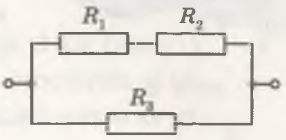
**9.** (*2 pont*) Ismeretes, hogy amikor az izzó kapcsain a feszültség 220 V, akkor az izzón 0,5 A erősségű áram halad át. Mekkora feszültséget kapcsoltak az izzóra, ha a rajta áthaladó áram erőssége 0,3 A?

**a)** 24,2 V; **b)** 132 V; **c)** 330 V; **d)** 440 V.

**10.** (*2 pont*) Mennyi a 20 cm hosszúságú, 2 mm$^2$ keresztmetszetű nikróm huzal ellenállása?

**a)** 0,11 Ω; **c)** 22 Ω;
**b)** 11 Ω; **d)** 1100 Ω.

**11.** (*3 pont*) Három ellenállás a 2. ábrán látható módon van az áramkörbe kapcsolva. Mennyi a főágban folyó áram erőssége, ha az első ellenálláson 1 A, a másodikon 1 A, a harmadikon pedig 1,5 A áram folyik át?



2. ábra

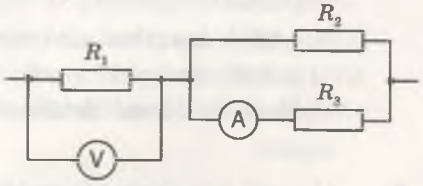
**a)** 1 A; **c)** 2,5 A;
**b)** 1,5 A; **d)** 3,5 A.

**12.** (*3 pont*) A 3 Ω és 6 Ω ellenállású rezisztorok párhuzamosan vannak kapcsolva. Az áramforrás kapcsain a feszültség 12 V. Mennyi a körben folyó áram erőssége?

**13.** (*3 pont*) A 3 Ω és 6 Ω ellenállású rezisztorok sorosan vannak kapcsolva. Mennyi a rezisztorokon mért feszültség, ha az első rezisztor végpontjaira eső feszültség 1,2 V?

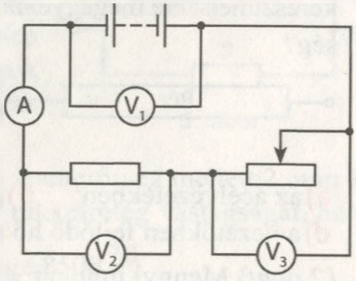
**14.** (*4 pont*) Mennyi a reosztáton áthaladó áram erőssége, ha annak tekercse 50 m hosszú és 0,5 mm$^2$ keresztmetszetű nikkelin huzalból készült és kapcsain a feszültség 168 V?

**15.** (*4 pont*) A 3. ábrán az áramkör egy szakaszát láthatjuk. Határozzátok meg, mit mutat a voltmérő és mennyi a feszültség a szakasz végpontjai között, ha az ampermérő 1,5 A áramerősséget mér. Az $R_1$ ellenállás 3 Ω, az $R_2$ 6 Ω, az $R_3$ pedig 2 Ω. Az összekötő vezetékek ellenállása elhanyagolható.



3. ábra

**16.** (*4 pont*) Hogyan változik meg a mérőműszerek állása (4. ábra), ha a reosztát csúszkáját balra húzzuk?



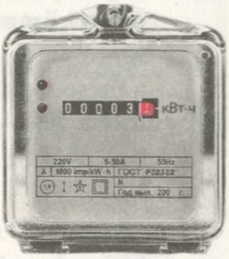
4. ábra

*Vessétek össze megoldásaitokat a könyv végén található feleletekkel! Jelöljétek meg a sikeresen megoldottakat, és számítsátok ki a pontok összegét! A kapott összeget osszátok el hárommal! Az így kapott eredmény mutatja a jelenlegi tudásszinteteket.*

## 2. rész. Az elektromos áram munkája és teljesítménye. Joule–Lenz törvénye. Elektromos áram különböző közegekben

*Az 1–10. feladatok feleletei között csak egy helyes megoldás van.*

**1.** (*1 pont*) Az 1. ábrán látható mérőműszer:
**a)** az elektromos áram munkáját;
**b)** az áramerősséget;
**c)** az ellenállást;
**d)** a feszültséget méri.



1. ábra

**2.** (*1 pont*) Gázokban a szabad töltéshordozók:
**a)** elektrolitikus disszociáció;
**b)** a gázmolekulák kaotikus mozgása;
**c)** külső ionizátor hatása;
**d)** a gázmolekulák rekombinációja során keletkeznek.

**3.** (*1 pont*) Villamos hegesztéskor a:
**a)** ködfénykisülés; **c)** koronakisülés;
**b)** szikrakisülés; **d)** elektromos ívfény jelenségét hasznosítják.

**4.** (*1 pont*) Félvezetőkben a:
**a)** szabad elektronok;
**b)** lyukak és szabad elektronok;
**c)** pozitív és negatív ionok;
**d)** ionok és szabad elektronok rendezett mozgása hozza létre az elektromos áramot.

**5.** (*2 pont*) A 2. ábrán három különböző anyagból készült sorba kapcsolt vezetőt láthatunk, amelyeket egy áramforrás sarkaihoz kötöttek. A vezetők hossza és keresztmetszete megegyezik. Melyik vezetőben fejlődik nagyobb hőmennyiség?

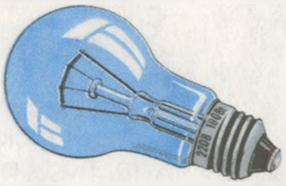
2. ábra

**a)** az acélvezetékben; **b)** a rézvezetékben; **c)** a nikróm vezetőben;
**d)** a vezetőkben fejlődő hő mennyisége megegyező.

**6.** (*2 pont*) Mennyi munkát végez a vezetőn 10 s ideig folyó 0,3 A erősségű áram? A vezető végei között a feszültség 4 V.
**a)** 0,12 J; **b)** 0,74 J; **c)** 3,6 J; **d)** 12 J.

**7.** (*2 pont*) A mosógép vízmelegítőjén, amelynek ellenállása 40 Ω, 5 A erősségű áram folyik. Mekkora hőmennyiség fejlődik a melegítőben 5 perc alatt?
**a)** 2 J; **b)** 200 J; **c)** 300 kJ; **d)** 5 kJ.

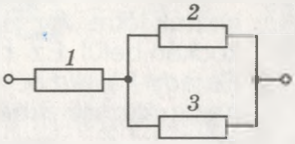
**8.** (*2 pont*) Milyen erősségű áram folyik a 3. ábrán látható villanyégő izzószálában az égő üzemelésekor?
**a)** kb. 0,45 A; **b)** 2,2 A; **c)** 22 kA; **d)** nem lehet meghatározni.



3. ábra

**9.** Egy termék ezüstözése során 1 óra alatt a katódon 2 g ezüst vált ki. Mekkora volt az áramerősség az ezüstözés során?
**a)** 0,3 A; **b)** 0,4 A; **c)** 0,5 A; **d)** 0,6 A.

**10.** (*3 pont*) Három rezisztor a 4. ábrán látható módon van összekapcsolva. Mekkora hőmennyiség fejlődik a körben 2 s alatt, ha az egyessel jelölt rezisztoron 1 A erősségű áram halad át, és minden rezisztor ellenállása 2 Ω?
**a)** 1 J; **b)** 2 J; **c)** 6 J; **d)** 12 J.



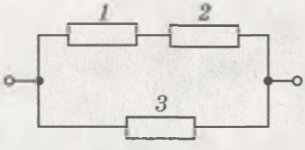

4. ábra

**11.** (*3 pont*) Az egymással párhuzamosan kapcsolt 3 Ω és 6 Ω ellenállású rezisztorokat egy olyan áramforráshoz kötötték, amelynek sarkain a feszültség 12 V. Számítsátok ki az egyes rezisztorokon fejlődő hőmennyiséget!

**12.** (*4 pont*) A szállítószalag a 300 kg tömegű súlyt 2 perc alatt emeli 16 m magasra. Számítsátok ki a szállítószalag motorjának tekercsén áthaladó áram erősségét, ha az 380 V feszültségen üzemel és hatásfoka 60%!

**13.** (*4 pont*) Az elektromos teafőzőbe 2 l vizet öntöttek, majd 0,5 percre 220 V feszültségű áramkörbe kapcsolták. Hány fokkal emelkedett a víz hőmérséklete, ha a teafőző fűtőszálának ellenállása 110 Ω, hatásfoka 70%? A víz fajhője $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{C}}$.

**14.** (*4 pont*) Az 5. ábrán látható módon összekapcsolt három rezisztort egy galvánelemekből álló telep kapcsaira kötötték. A telep kapcsain a feszültség 4 V, a rezisztorok ellenállása 12 Ω. Számítsátok ki az egyes rezisztorokra jutó teljesítményt!




5. ábra

**15.** (*4 pont*) Egy fémlap nikkelezése 0,15 A áramerősség mellett 2 órán át tartott. Határozzátok meg a keletkezett nikkelréteg vastagságát, ha a fémlap felszíne 96 $\text{cm}^2$! A nikkel sűrűsége $8500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

*Vessétek össze megoldásaitokat a könyv végén található feleletekkel! Jelöljétek meg a sikeresen megoldottakat, és számítsátok ki a pontok összegét! A kapott összeget osszátok el hárommal! Az így kapott eredmény mutatja a jelenlegi tudásszinteteket.*

## A LEYDENI PALACKTÓL A SZUPERKONDENZÁTOROKIG

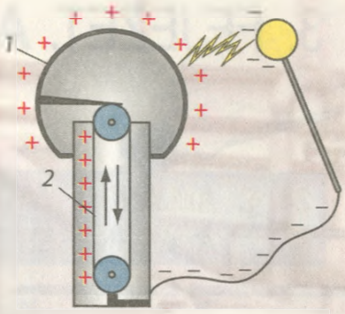
A XVIII–XIX. században több olyan találmány született, amelyeket kisebb-nagyobb módosításokkal napjainkban is használunk. Az elektromos tér hatásait tanulmányozva *Michael Faraday* angol tudós egy 4 m élhosszúságú, kocka alakú fémhálót épített, amelyet elszigetelt a földtől. Úgy gondolta, hogy egy ilyen eszköz megvédheti a kísérletező személyt az elektromos tér hatásaitól. Feltételezését ellenőrzendő a tudós a legérzékenyebb elektroszkóppal felszerelve a kocka alakú kalitka belsejében helyezkedett el, közben kívül segítői nagyon erős elektromos kisüléseket hoztak létre. A műszer eközben nem mutatta ki elektromos tér jelenlétét a kockán belül. Ez az eszköz, amely megvéd az elektromágneses hatásoktól, *Farady-kalitka* néven vált ismertté. A „kifordított" Farady-kalitkát mindenki használja, amikor mikrohullámú sütőben ételt melegít. A sütő fémteste, valamint az ablakába épített fémrács véd meg minket az ételt melegítő mikrohullámú elektromágneses sugárzástól.

Az elektromos töltés alkalmazásának útjában egy nagyon komoly akadály állt: az elektromos töltést nagyon nehéz felhalmozni. Egy gépkocsi-akkumulátor tömege meghaladja a 10 kg-ot, s ez az akkumulátor csak a gépkocsi indításának néhány másodperce alatt üzemel teljes teljesítményen. A gépkocsi működtetéséhez szükséges elektromos energiát minden más esetben a generátor szolgáltatja, amelynek működésével a harmadik fejezetben ismerkedtek meg. A parkoló gépkocsi világításának biztosítására pedig egy telep is tökéletesen megfelel. Miért hordozzon akkor a gépkocsi egy ilyen súlyos terhet, mint az akkumulátor? A mérnökök mára már megtalálták annak a módját, hogy lehet az akkumulátor méretét csökkenteni: helyette a *leydeni palack* (1. ábra) mai formáját, a *szuperkondenzátort* (2. ábra) alkalmazzák, amelynek energiáját csak a gépkocsi indításakor használják. Az akkumulátor mérete és súlya láthatóan sokszorosa a szuperkondenzátorénak.

1. ábra

2. ábra

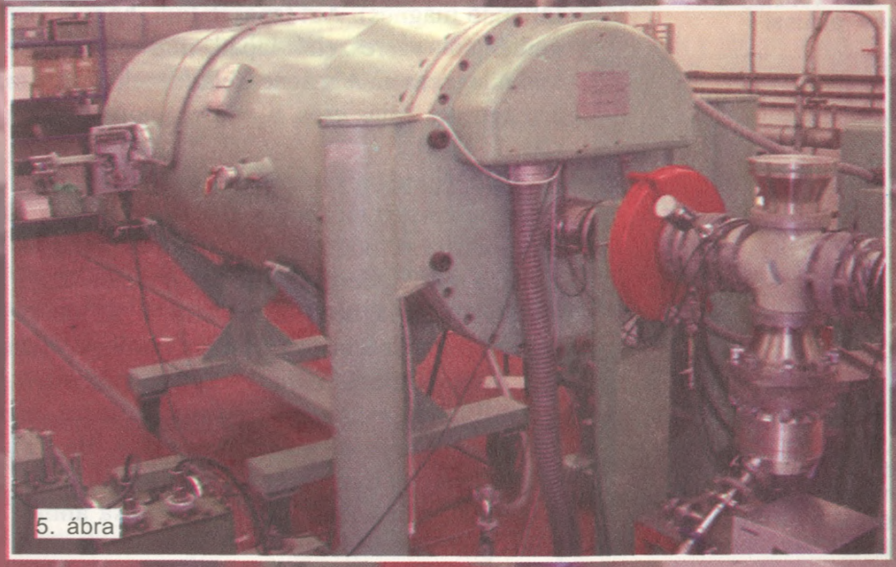
3. ábra




4. ábra

A leydeni palack volt az elektromos töltés felhalmozására szolgáló első eszköz (az első kondenzátor), amellyel a XVIII. század közepén Leydenben (Hollandia) kísérleteztek először. A leydeni palack egy üvegedény, amelynek külső és belső fala fémfóliával van bevonva. A belső részből az üveg nyakán keresztül vezet ki egy fémgömbben végződő vezető. A palack feltöltése a következőképpen történik: a palackot a kezünkbe fogjuk, ezáltal biztosítjuk annak földelését. Ezután a belső felülethez csatlakozó vezetőt egy feltöltött testhez érintjük. Ha ezt a műveletet többször megismételjük, akkor a palackban töltések halmozódnak fel (3. ábra).

A leydeni palack működése sokban hasonlít az elektrosztatikus, vagy a felfedezője nevén a *Van der Graaf generátoréhoz* (4. ábra). Ez az eszköz a következőképpen működik. Egy szállítószalag (*2*) egyik végét egy üreges fémgömb (*1*) belsejében helyezik el. A szállítószalag mozgása során elektromosan feltöltődik, róla a töltést a fémgömb belsejébe vezeti el egy fém érintkező. A Van der Graaf generátor a mikrovilág tanulmányozásakor nélkülözhetetlen részecskegyorsítók (5. ábra) „szíve". A részecskegyorsítókkal könyvünk negyedik részében foglalkozunk.



5. ábra

# 3. FEJEZET. A MÁGNESES TÉR

## 24. §. ÁLLANDÓ MÁGNESEK. MÁGNESES TÉR. A MÁGNESES TÉR ERŐVONALAI

Az emberek már nagyon régen megfigyelték, hogy vannak olyan vasércek, amelyek vonzzák a vasból készült testeket. Az ókori görögök mágneses köveknek nevezték az ilyen ércet, valószínűleg Magnézia (Magnesia) városáról, ahonnan a kövek származtak. Ma ezeket az anyagokat *természetes mágneseknek* nevezik. Léteznek *mesterséges mágnesek* is. Ebben a paragrafusban a mágnesek néhány tulajdonságával ismerkedtek majd meg.

### 1 Megismerkedünk az állandó mágnesek tulajdonságaival

Azokat a testeket, amelyek huzamosabb ideig megőrzik mágneses tulajdonságaikat, **állandó mágneseknek** nevezzük.

**24. 1. ábra.** A vasreszeléket erősebben vonzzák a mágnes pólusai

**24. 2. ábra.** Az iránytű egy állandó mágnesből készített tű, amelynek egyik pólusa mindig észak, a másik pedig mindig dél felé mutat

Először W. Gilbert (3. 1. ábra) angol fizikus tanulmányozta behatóan az állandó mágnesek tulajdonságait. Lássuk ezek közül a legfontosabbakat.

*Az állandó mágnesek legfontosabb tulajdonságai*

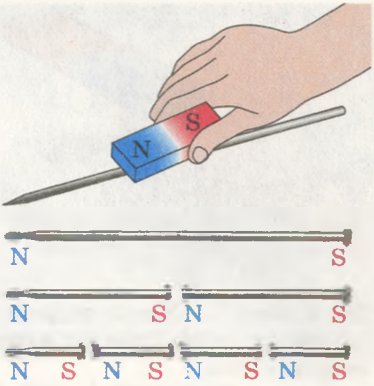
1. *Az állandó mágnes vonzóereje nem egyenletes annak felszínén.* Hogy meggyőződjünk erről, helyezzünk vasreszelékbe egy mágnesezett acélcsavart (állandó mágnes). Azt tapasztaljuk, hogy a csavar végeihez sok vasreszelék tapad, míg a közepéhez gyakorlatilag semmi. A mágnes felszínének azt a részét, ahol a mágneses hatás erős, a *mágnes pólusainak* nevezik (24. 1. ábra).

2. A *mágnesnek északi és déli pólusa* van. Ha egy mágnesezett tűt hegyes csúcsra helyezünk, akkor az meghatározott módon helyezkedik el: az egyik pólusa *észak*, a másik pedig *dél* felé fog mutatni. Innen kapták a nevüket a mágnes pólusai (24. 2. ábra). Az északi pólust N, a délit S betűvel jelölik (a holland *noord* észak és *zuiden* (németül *Süden*) – dél szavakból).

3. *Két mágnes egynemű pólusai taszítják, különnemű pólusai vonzzák egymást.* Ha az állandó mágneshez egy iránytűt közelítünk, annak északi pólusa a mágnes déli pólusához, déli pólusa annak északi pólusához vonzódik.

4. *Nem létezik egypólusú mágnes, a mágnes mindig kétpólusú.* Ha egy acéltűt mágnesezünk, majd pedig néhány darabra felvágunk, akkor minden így keletkezett darabnak két pólusa lesz: északi és déli (24. 3. ábra).

5. *Állandó mágnest csak mágneses anyagból készíthetünk.* Az állandó mágnesek *csak mágneses anyagból készült más testekre vannak hatással.* A mágneses anyagok általában vasat, nikkelt, kobaltot vagy ritkaföldfémeket (például gadolínium, terbium) tartalmaznak. Azok a mágnesek, amelyekkel az iskolai táblákhoz rögzítik a plakátokat, mágnesezett acélból készülnek. Ezek a mágnesek erősen tartanak az acéltáblán, de természetesen egyáltalán nem használhatók fa vagy műanyag táblákon.




**24. 3. ábra.** A mágnesezett tűnek és valamennyi darabjának két különböző pólusa van

6. *Ha a mágnest bizonyos hőmérsékletre felhevítik, elveszti mágneses tulajdonságait.* Azt a hőmérsékleti értéket, ahol ez bekövetkezik, *Curie-pontnak* nevezik. Vas esetében ez 769 °C.

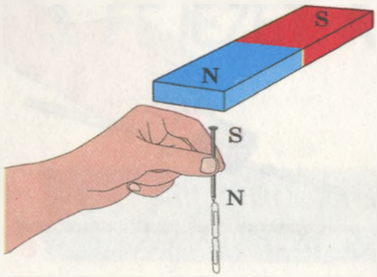
## 2 Megismerkedünk a mágneses térrel

Az elektromos jelenségek tanulmányozása során már említettük, hogy az elektromosan feltöltött test környezetében megváltozik a tér: elektromos tér keletkezik, amely meghatározott erővel hat más töltött részecskékre. Ennek eredményeképpen az egynemű töltések taszítják, a különneműek pedig vonzzák egymást.

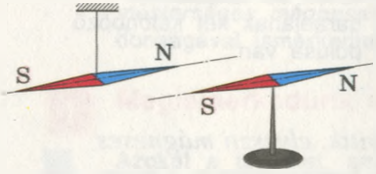
A mágnesezett testek környezetében szintén megváltozik a tér, itt ***mágneses tér*** keletkezik. *Ez a tér hatást gyakorol más mágnesezett testekre* oly módon, hogy az azonos nemű pólusok taszítják, a különneműek pedig vonzzák egymást.

Az elektromos jelenségek tanulmányozása során tapasztaltuk, hogy az elektromosan semleges testeket mindig vonzzák a töltött testek. A töltött test hatására a töltetlen testen belül szétválasztódnak az elektromos töltések (elektromos töltésmegoszlás), a töltött testhez közelebb helyezkednek el a vele ellentétes előjelű töltések és attól távolabb a vele megegyező előjelűek (3. §., 5. pont).

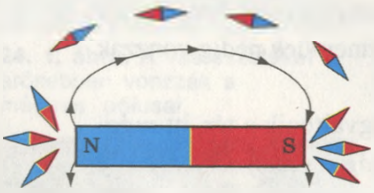
A testekben mágneses tér hatására szintén változások következnek be. Az állandó mágnes mágneses terébe helyezett szeg mágneseződik és állandó mágnessé válik (24. 4. ábra). Az állandó mágnes északi pólusának közelében lesz a szeg déli pólusa, ezért a szeget vonzani fogja a mágnes.



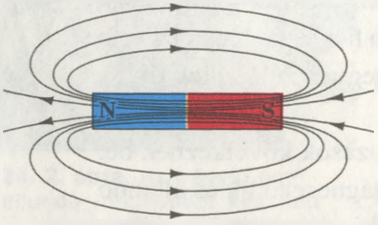

**24. 4. ábra**. Az állandó mágnes mágneses terébe helyezett szeg mágnesződik




**24. 5. ábra.** A mágnestűk pólusai azok végein helyezkednek el.
A pólusokat összekötő képzeletbeli egyenes a mágnes tengelye




**24. 6. ábra.** Mágneses térben a mágnestűk a tér erővonalai mentén orientálódnak




**24. 7. ábra**. A mágneses tér erővonalai zárt görbék

## 3 Bevezetjük a mágneses erővonalak fogalmát

A mágneses tér létezését többféle módon mutathatjuk ki. A mágneses tér tanulmányozása céljából már nagyon régen használják a *mágnestűt*, ami elnyújtott rombusz alakú állandó mágnes (24. 5. ábra).

Ha egy mágnesrúd körül sok kis mágnestűt helyezünk el, azok tengelyei meghatározott módon helyezkednek el, állnak be. A mágnestűk tengelyei egy képzeletbeli vonal mentén orientálódnak. Ez a mágneses tér mágnestűre gyakorolt hatásával magyarázható.

Azokat a képzeletbeli vonalakat, amelyek mentén a mágnestűk tengelyei elhelyezkednek, a **mágneses tér erővonalainak** vagy **mágneses indukcióvonalaknak** nevezzük (24. 6. ábra).

A mágneses tér *irányának* azt az irányt fogadták el, *amelybe a mágnestű déli pólusa mutat.*

Az erővonalak segítségével jól szemléltethetjük a mágneses teret. Megegyezés szerint az erővonalak sűrűsége szemlélteti a mágneses tér erősségét: minél erősebb a mágneses tér, annál több erővonalat rajzolnak.

A mágnesrúd erővonalait (24. 7. ábra) vizsgálva levonhatunk néhány fontos következtetést. Először is a mágnesen kívül *a mágneses tér erővonalai az északi pólusból kifelé, a déli pólusba pedig befelé mutatnak*; másodszor *a mágneses tér erővonalai zártak*; harmadszor *a mágneses tér a pólusok körül a legerősebb.*

A mágneses tér erővonalait láthatóvá tehetjük vasreszelék segítségével. Veszünk egy mágnespatkót, ráteszünk egy szervesüveg-lapot, amire vasreszeléket szórunk. Mágneses térben minden vasreszelék darabka kis mágnestűként viselkedik. Ezek a kis mágnestűk a már megvizsgált módon orientálódnak. A vasreszelék-láncocskák által alkotott kép a mágneses tér képe vagy a fizikusok szóhasználatával a *mágneses tér spektruma* (24. 8. ábra).

## Összegzés

Azokat a testeket, amelyek huzamosabb ideig megtartják mágneses tulajdonságaikat, állandó mágneseknek nevezzük.

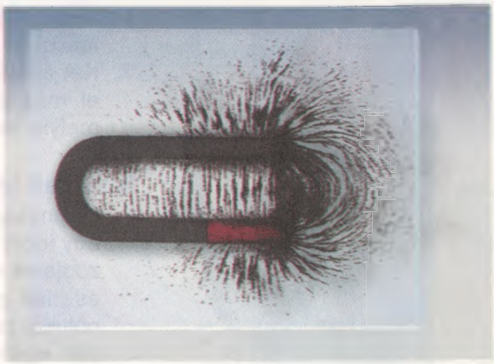
A mágnesek legfontosabb tulajdonságai:

– a mágneses hatás a pólusok közelében a legerősebb (az északi és déli pólust megfelelően N és S betűvel jelöljük);

– az egynemű pólusok taszítják, a különneműek pedig vonzzák egymást;

– nem állítható elő egypólusú mágnes;

– az állandó mágneseket mágneses anyagokból készítik; a mágnesek csak olyan testekre vannak hatással, amelyek szintén mágneses anyagból készültek;



**24. 8. ábra.** A vasreszelék elhelyezkedése a mágnespatkó környezetében

– ha a mágnest elég magas hőmérsékletre hevítjük (Curie-pont), akkor az elveszíti mágneses tulajdonságait.

A mágnesezett testek mágneses teret keltenek maguk körül. Azokat a képzeletbeli vonalakat, amelyek mentén a mágnestűk tengelyei orientálódnak, a mágneses tér erővonalainak vagy mágneses indukcióvonalaknak nevezzük. A mágneses indukcióvonalak irányául azt az irányt fogadták el, amerre a mágnestűk északi pólusai mutatnak. A mágneses tér erővonalai zártak. Az erővonalak a mágnesen kívül az északi pólusból kilépnek, a déli pólusba pedig belépnek.

## Ellenőrző kérdések

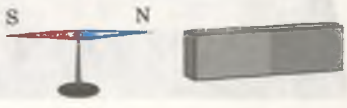
**1.** Mit nevezünk állandó mágnesnek? **2.** Mit nevezünk mágneses pólusnak, és hogy nevezzük azokat? **3.** Soroljátok fel a mágnesek legfontosabb tulajdonságait! **4.** Milyen kísérletek segítségével mutathatók ki a mágnesek tulajdonságai? **5.** Hogyan helyezkednek el a mágnestük mágneses térben? **6.** Mik a mágneses tér erővonalai? **7.** Melyik irányt fogadták el a mágneses tér erővonalainak irányaként? **8.** Hogyan szemléltethetjük a mágneses tér erővonalait?

## 21. gyakorlat

**1.** A mágnestűt egy mágnesrúd mellett helyezték el (1. ábra). Határozzátok meg, melyik a mágnesrúd északi és déli pólusa!

**2.** Egy mágnest déli pólusával egy felfüggesztett vasgolyóhoz közelítik. Hogy viselkedik a vasgolyó ebben az esetben: vonzódik a mágneshez vagy taszítódik attól? Feleleteteket indokoljátok!

**3.** Miért mutatnak a vasreszelék részecskéi különböző irányba a mágnes sarkai körül (24. 1. ábra)?




1. ábra

2. ábra

4. Miért alkotnak az állandó mágnesen a vasból készült tárgyak láncot (2. ábra)?
5. Két acéllapocska közül az egyik mágnesezett. Hogy dönthetjük el más test igénybe vétele nélkül, melyik a mágnesezett és melyik nem?

### Kísérleti feladat

1. Mágnesezzetek meg két acéltűt oly módon, hogy egy időre állandó mágnesre helyezitek őket. Győződjetek meg róla, hogy mindkét tűnek van északi és déli pólusa, valamint hogy azok egynemű pólusai taszítják, különnemű pólusai pedig vonzzák egymást!
2. Vegyetek néhány tűt és fűzzetek azokba cérnát! Fogjátok össze a cérnák végeit, és közelítsetek a tűk végeihez egy állandó mágnessel (3. ábra)! Magyarázzátok meg a tapasztaltakat!

3. ábra

## 25. §. A FÖLD MÁGNESES TERE

A XXI. században egy felvilágosult ember számára nem jelent gondot az, hogy utazásai során megállapítsa, milyen irányban halad. Ehhez elegendő, ha a GPS műholdas helymeghatározó rendszert használja. De mi van akkor, ha ilyen eszköz nem áll rendelkezésünkre? Akkor bizony szükség lehet a régről ismert iránytűre (25. 1. ábra). Hogy miért mutat az iránytű egyik vége észak, a másik pedig dél felé, s vajon ez mindig így van-e, azt megtudhatjátok ebből a paragrafusból.

### 1 Bebizonyítjuk, hogy a Földnek van mágneses tere

Az a tény, hogy a mágnesezett tű a Föld felszínének közelében meghatározott orientációval bír, azt bizonyítja, hogy a *Földnek mágneses tere van*. A mágnestű mindig a mágneses tér erővonalai mentén orientálódik. A Föld mágneses tere segítséget nyújt a tájékozódásban a világjáróknak, a tengerészeknek és a katonáknak. De nemcsak nekik. Bizonyított tény, hogy a halak, a tengeri emlősök és a madarak vándorútjuk során a Föld mágneses tere szerint tájékozódnak. Ugyanígy járnak el más állatok is, például a hazavezető utat kereső macskák.

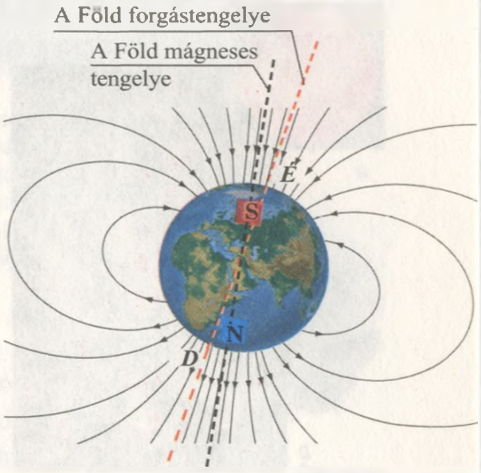
**25. 1. ábra.** Régi kínai iránytű

A Föld mágneses terét először W. Gilbert angol tudós tanulmányozta (3. 1. ábra). Készített mágneses anyagból egy golyót és meggyőződött arról, hogy az mind északi, mind pedig déli pólussal rendelkezik. Egy iránytű segítségével Gilbert megfigyelte, hogy annak északi pólusa a golyó déli pólusának irányába mutat.

Ez a megfigyelés azt a gondolatot sugalmazta neki, hogy *a Föld egy nagy mágnes,* és hogy *északi irányban helyezkedik el annak déli pólusa.* A későbbi kísérletek igazolták Gilbert hipotézisét.

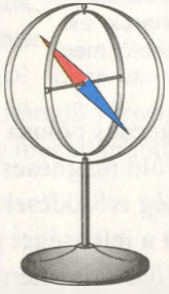
A Föld mágneses terének képét (25. 2. ábra) elemezve néhány érdekes következtetést vonhatunk le.

Először, *a Föld déli sarkának közelében helyezkedik el annak északi mágneses pólusa,* ahonnan a mágneses tér erővonalai kilépnek. És fordítva: a *Föld északi földrajzi sarkának közelében annak déli mágneses pólusa helyezkedik el,* ahová a mágneses tér erővonalai belépnek.




**25. 2. ábra.** A Föld mágneses terének erővonalai

Másodszor, *a mágneses és a földrajzi pólusok nem esnek egybe* (távolságuk nagyjából 2100 km), ezért az iránytű csak közelítőleg mutatja az északi és déli irányt.



**25. 3. ábra.** A függőleges és vízszintes tengely körül szabadon elforduló mágnestű a földfelszínnel szöget zár be

Harmadszor, *a Föld mágneses terének erővonalai nem párhuzamosak a Föld felszínével.* Ha a mágnestűt oly módon függesszük fel, hogy az a vízszintes és függőleges tengely körül szabadon elfordulhat, akkor az meghatározott szöget zár majd be a Föld felszínével (25. 3. ábra). A Föld mágneses pólusához közeledve az iránytű mindinkább a függőleges felé hajlik, elérve a pólushoz pedig függőlegesen áll be.

## 2 Megismerkedünk a mágneses viharokkal és anomáliákkal

Alaposabb vizsgálatok kimutatták, hogy a Föld mágneses tere a felszínének adott pontján nem állandó. Megállapították, hogy a mágnestű iránya napi ingadozást mutat, sőt kismértékű éves ingadozás is megfigyelhető. Időnként előfordulnak jelentős változások is. A Föld mágneses terének erős háborgatásai néhány órától néhány napig tartanak. Ezeket *mágneses viharoknak* nevezik. Megfigyelték, hogy a mágneses viharok a naptevékenység erősödésével egyidejűleg lépnek fel (25. 4. ábra).

A mágneses viharokat az egészséges ember gyakorlatilag nem érzékeli, akik azonban szív- és érrendszeri, valamint idegrendszeri betegségekben szenvednek, a közérzetük jelentős romlását tapasztalják.

**25. 4. ábra.** A naptevékenység erősödésekor növekszik a napfoltok száma (*a*), a Földön pedig mágneses viharok és sarki fény (*b*) figyelhető meg

Mágneses viharok idején az iránytű rendellenesen viselkedik, vagyis nem az észak-déli irányba áll be. Földünkön vannak olyan helyek, ahol az iránytű mindig rendellenesen viselkedik, vagyis nem a földi mágneses tér erővonalainak irányába áll be. Ezeket a helyeket *mágneses anomáliáknak* nevezik. A mágneses anomáliák helyein a mágneses tér eltér a megszokottól. Az erre irányuló vizsgálatok segítségével felderíthetőek egyes ércek (főleg vasérc) lelőhelyei, a mágneses és más vizsgálati módszerek egyidejű alkalmazásával pedig a lelőhelyek mélysége és mennyisége is felmérhető.

### Összegzés

A Földnek mágneses tere van, amely meghatározza az iránytűk beállását: azok a Föld mágneses terének erővonalai mentén orientálódnak. A Föld déli földrajzi pólusának közelében az északi mágneses pólusa; az északi földrajzi pólusa közelében a déli mágneses pólusa helyezkedik el.

A Föld mágneses terét csekély napi és évi ingadozás jellemzi. A naptevékenység erősödésekor a Föld mágneses terének hirtelen változásai észlelhetők. Ezt a jelenséget mágneses viharnak nevezzük.

A Föld felszínének azon helyeit, ahol a mágneses tér mindig eltér a megszokottól, mágneses anomáliáknak nevezzük.

### Ellenőrző kérdések

1. Bizonyítsátok be, hogy a Földnek van mágneses tere! 2. Hol helyezkednek el a Föld mágneses pólusai a földrajzi pólusokhoz képest? 3. Mivel magyarázható a mágneses vihar keletkezése? Hogy hatnak a mágneses viharok az emberek közérzetére? 4. Mi a mágneses anomália?

### 22. gyakorlat

1. A föld felszínének melyik pontján mutat az iránytű mindkét vége dél felé?
2. Miért mutatnak az acél ablakrácsok időnként mágnesezettséget?
3. Milyen követelményeknek kell eleget tennie annak az anyagnak, amelyből a Föld mágneses terének tanulmányozására szolgáló hajókat építik?

### Kísérleti feladat

1. Iránytű segítségével határozzátok meg a Föld mágneses terének irányát szobátokban! Helyes eredményre juttok-e, ha az iránytű közelében acéltárgyat helyeztek el? Ha állandó mágnest? Magyarázzátok meg feltételezéseteket, és ellenőrizzétek azt kísérletileg!
2. Helyezzétek az iránytűt a földön álló vasból készült vödör aljához, majd tetejéhez! Magyarázzátok meg a tapasztaltakat!

# 26. §. AZ ÁRAM MÁGNESES HATÁSA. AZ ÁRAMJÁRTA VEZETŐ MÁGNESES TERE

?! Már említettük, hogy az elektromos áramnak hő-, vegyi és mágneses hatása van. Az áram hő- és vegyi hatása nem mindig mutatható ki. Az áram mágneses hatása azonban bármilyen körülmények között megmutatkozik. Ebből kiindulva feltételezhetjük, hogy az áramjárta vezetőt mágneses tér veszi körül. Most ezt vizsgáljuk meg.

**26. 1. ábra.** Hans Christian Oersted (1777–1851) dán fizikus. Felfedezte az áram mágneses hatását

## 1 Megismerkedünk Oersted kísérletével

A görög tudósok már az ókorban feltételezték, hogy az elektromos és mágneses jelenségek valamilyen módon kapcsolatban állnak egymással. E kapcsolat jellegét mindazonáltal csak a XIX. században sikerült felfedni.

*Hans Christian Oersted* (26. 1. ábra) dán tudós az áramjárta vezető melegedését mutatta be diákjainak. Az egyik kísérletnél észrevette, hogy *amikor a vezetőben áram folyik, annak közelében ottfelejtett iránytű kitér az észak-dél irányból* (26. 2. ábra). Az áram kikapcsolása után az iránytű visszatért a Föld mágneses tere által megszabott helyzetbe. A tudós így megállapította, hogy az áramjárta vezető hatást gyakorol a mágnestűre.

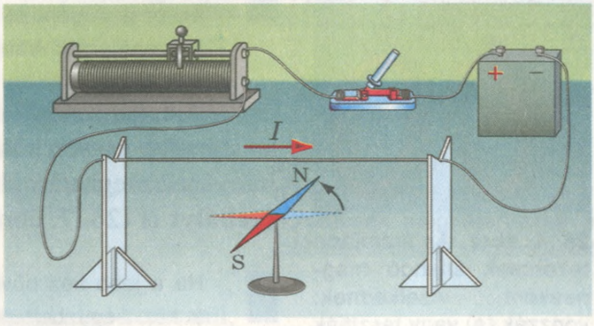
## 2 Megismerkedünk Ampere hipotézisével

Oersted elküldte kísérletének leírását Európa vezető tudósainak. André Marie Ampere francia matematikus és fizikus (9. 2. ábra) 1820. szeptember 4-én a Francia Tudományos Akadémia ülésén hallott először Oersted kísérletéről, s már egy hét múlva bemutatta hallgatóságnak két párhuzamos áramjárta vezető kölcsönhatását (26. 3. ábra). Ezenkívül Ampere bebizonyította, hogy az áramjárta tekercsek állandó mágnesként viselkednek (26. 4. ábra).

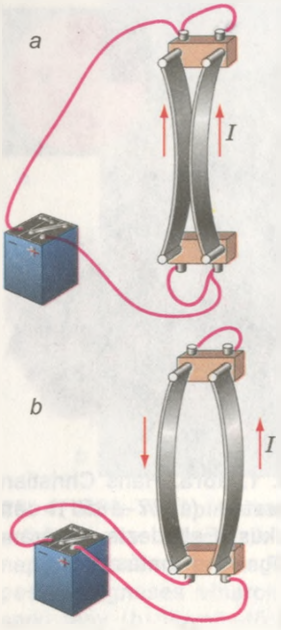
A kísérleteket elemezve Ampere néhány fontos megállapítást tett.

1. *Az állandó mágnes, az áramjárta vezető vagy bármely mozgó töltés körül mágneses tér van.*

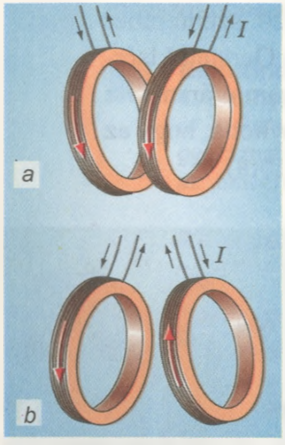
2. *A mágneses tér meghatározott erővel hat a benne mozgó elektromosan töltött részecskére.*




**26. 2. ábra.** Oersted kísérletének vázlata




**26. 3. ábra**. Ampere kísérletének vázlata. Ha a párhuzamos vezetőkben egyirányú áram folyik, akkor azok vonzzák egymást (*a*); ha az áramok iránya ellentétes, a vezetők taszítják egymást (*b*).




**26. 4. ábra**. Az áramjárta tekercsek állandó mágnesként viselkednek: vonzzák (*a*) vagy taszítják (*b*) egymást

3. Az elektromos áram töltött részecskék irányított mozgása, *a mágneses tér ezért hat az áramjárta vezetőre.*

4. Az áramjárta vezető és az állandó mágnes, valamint két állandó mágnes kölcsönhatását úgy magyarázhatjuk, ha *feltételezzük, hogy a mágnes belsejében csillapítatlan molekuláris áramok folynak.* (Ezt a feltételezést nevezik *Ampere hipotézisének.* A mágnesség természetéről alkotott mai elképzelések kvantummechanikai alapokra támaszkodnak.)

Ampere tehát a mágneses jelenségeket mozgó elektromos töltések kölcsönhatásával magyarázta; a kölcsönhatás a mozgó töltések által keltett mágneses téren keresztül történik.

A **mágneses tér** az anyag különleges formája, amely a mozgó elektromos töltések környezetében létezik, és meghatározott hatást gyakorol más töltött részecskékre vagy a térben mozgó más testekre.

## 3 Megismerkedünk a dugóhúzó-szabállyal

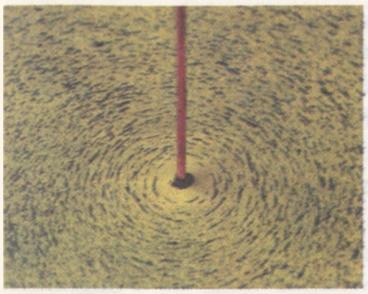
Vizsgáljuk meg az áramjárta vezető mágneses terét vasreszelék segítségével (26. 5. ábra). A mágneses tér erővonalai szerint orientálódva a vasreszelék kirajzolja elénk az erővonalakat: a vezetőt körülölelő koncentrikus köröket.

*Az áramjárta vezető mágneses indukcióvonalainak irányát* meghatározhatjuk mágnestűk segítségével, ahogy azt az állandó mágnesek estében tettük. Ez a módszer nem mindig kényelmes. Helyette használhatjuk a **dugóhúzó-szabályt**.

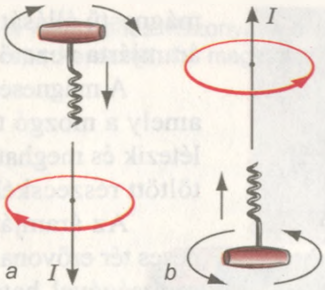
Ha a dugóhúzó hegyének iránya az áram irányában halad, akkor a dugóhúzó forgási iránya mutatja a mágneses tér erővonalainak irányát.

Aki már használt dugóhúzót, annak a dugóhúzó-szabály alkalmazása nagyon könnyű (26. 6. ábra). Az indukcióvonalak irányának meghatározására használhatjuk még a **jobbkéz-szabályt** is (26. 7. ábra).

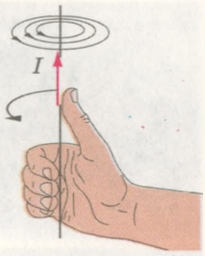
Ha a jobb kéz hüvelykujja az áram irányába mutat, akkor a kéz négy behajtott ujja a mágneses tér erővonalainak irányát mutatja.



**26. 5. ábra.** Az áramjárta egyenes vezető mágneses terének vizsgálata vasreszelék segítségével




**26. 6. ábra.** A mágneses tér erővonalainak irányát a dugóhúzó-szabály segítségével határozzuk meg: *a* az áram iránya lefelé mutat; *b* az áram iránya felfelé mutat



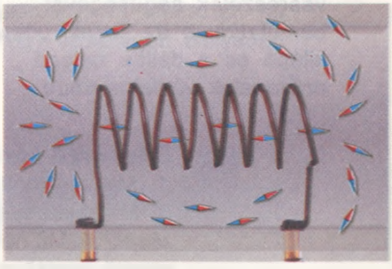

**26. 7. ábra.** Az erővonalak irányának meghatározása a jobbkéz-szabály segítségével

## 4 Megvizsgáljuk az áramjárta tekercs mágneses terét

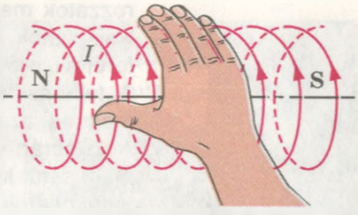
Tekintsünk most vissza Ampere kísérleteire. Készítsünk egy tekercset és kapcsoljuk azt egy áramforrás sarkaira. Ha most a tekercs körül mágnestűket helyezünk el, azok a tekercs egyik vége felé északi pólusaikkal fordulnak, a másik felé pedig a délivel (26. 8. ábra). A *tekercs körül tehát mágneses tér van.*

A mágnesrúdhoz hasonlóan a tekercsnek is van északi és déli pólusa. A tekercs pólusai annak végein helyezkednek el, helyzetüket a jobbkéz-szabály segítségével könnyen meghatározhatjuk: ha a jobb kezünk négy behajlított ujja a tekercsben folyó áram irányát mutatja, akkor kinyújtott hüvelykujjunk a tekercs mágneses terének északi pólusa felé mutat (26. 9. ábra). Ebből nyilvánvalóan következik, hogy az áram irányának megváltozása a pólusok helyének felcserélődéséhez vezet.

Vizsgáljuk meg a tekercs mágneses terét vasreszelék segítségével is (26. 10. *a* ábra). Ha összevetjük az áramjárta tekercs (26. 10. *b* ábra) és az állandó mágnes (24. 7. ábra) erővonalainak képeit, könnyen észrevesszük azok hasonlatosságát.



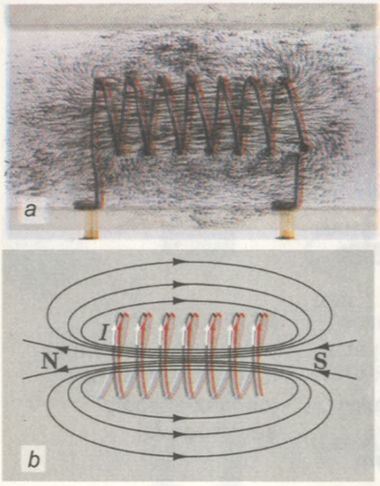
**26. 8. ábra.** Az áramjárta tekercs mágneses terének vizsgálata mágnestűk segítségével




**26. 9. ábra.** Az áramjárta tekercs mágneses pólusainak meghatározása a jobbkéz-szabály segítségével

## ! Összegzés

Ha egy vezetőn elektromos áram halad keresztül, akkor az megváltoztatja a vezető közelében elhelyezett




**26. 10. ábra**. Az áramjárta tekercs mágneses terének erővonalai: *a* vasreszelék segítségével bemutatva; *b* az északi pólusból kilépő és a délibe belépő erővonalak vázlatos képe

mágnestű állását. Ez azért következik be, mert az áramjárta vezető mágneses teret gerjeszt.

A mágneses tér az anyag különleges állapota, amely a mozgó töltött részecskék környezetében létezik és meghatározott erővel hat a benne mozgó töltött részecskékre és testekre.

Az áramjárta vezető által gerjesztett mágneses tér erővonalainak irányát a dugóhúzó-szabály segítségével határozhatjuk meg: ha a dugóhúzó haladási iránya megegyezik a vezetőben folyó áram irányával, akkor a forgási iránya mutatja az erővonalak irányát. Az erővonalak irányát a jobbkéz-szabály segítségével is meghatározhatjuk.

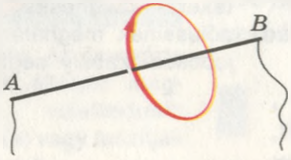
Az áramjárta tekercs mágneses terének – az állandó mágnesekhez hasonlóan – két pólusa van. Ezek helyzetét a jobbkéz-szabály szerint határozzuk meg: ha a jobb kéz négy behajtott ujja a tekercsben folyó áram irányát mutatja, akkor a kinyújtott hüvelykujj a tekercs északi pólusának irányát mutatja.

## Ellenőrző kérdések

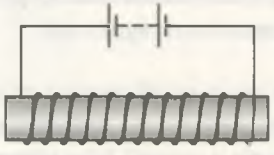
1. Mit mutatott ki Oersted kísérlete? 2. Mondjátok el Ampere kísérleteit! 3. Mivel magyarázta Ampere az állandó mágnesek mágneses terének létezését? 4. Mit nevezünk mágneses térnek? 5. Hogy határozzuk meg az áramjárta vezető esetében a mágneses tér erővonalainak irányát? 6. Milyen az áramjárta vezető; az áramjárta tekercs mágneses terének spektruma? 7. Hogyan határozzuk meg az áramjárta tekercs mágneses pólusainak helyzetét?

## 23. gyakorlat

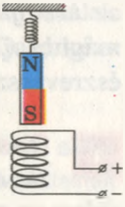
1. Mi a magyarázata két áramjárta vezető kölcsönhatásának?
2. Az 1. ábra egy vezető mágneses tere erővonalainak irányát mutatja. Határozzátok meg az áram irányát!
3. Rajzoljátok át a 2. ábrát a füzetetekbe! Ábrázoljátok a tekercs mágneses terének erővonalait, és tüntessétek fel azok irányát!
4. A tekercs felett mágnest függesztettek fel (3. ábra). Hogyan viselkedik a mágnes az áramkör zárásakor? Feleleteteket indokoljátok!
5. A 4. ábrán egy áramforrást, egy kapcsolót, egy áramjárta tekercset és egy mágnestűt láthatunk. Határozzátok meg az áramforrás pólusait! Feleleteteket indokoljátok!




1. ábra

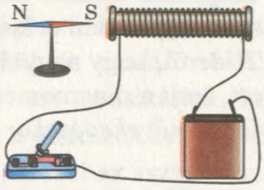


2. ábra

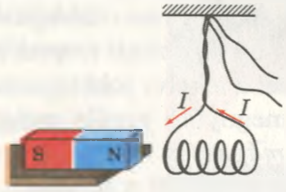



3. ábra

6. Milyen irányban mozdul el a mágneshez viszonyítva a mozgó tekercs (5. ábra), ha: a) áramot bocsátunk rajta keresztül; b) megváltoztatjuk az áram irányát?




4. ábra




5. ábra

### Kísérleti feladat

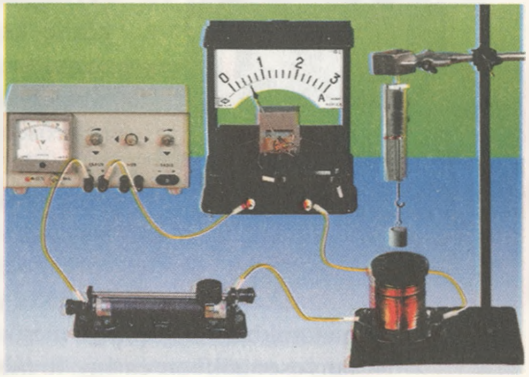
Készítsetek elektromágneses iránytűt. E célból ragasszatok össze egy 4–5 cm hosszú papírhengert. Csévéljetek fel a hengerre 20–30 menetnyi vékony, hajlékony, szigetelt vezetőt. Az így keletkezett tekercset rögzítsétek egy vékony deszkadarabra vagy dobozra, és kapcsoljátok a végeit egy telep sarkaira. A jobbkéz-szabály segítségével határozzátok meg a tekercs északi és déli pólusát! Tegyétek a deszkát egy vizet tartalmazó edénybe! Ezzel az elektromágneses iránytű elkészült. Mi történik, ha nyitjuk az áramkört? Tegyetek a tekercsbe egy vasszeget! Helyesen mutatja-e az iránytű az észak-déli irányt?

## 27. §. ELEKTROMÁGNESEK ÉS AZOK ALKALMAZÁSAI

Az iskolai villanycsengő, a villanymotor, a vashulladék-telepen működő emelődaru, a vasércdúsító... Milyen kapcsolat állhat fenn ezek között a nagyon eltérő eszközök között? A fizikában jártas ember tudja rá a választ: mindegyikben elektromágnest alkalmaznak. Derítsük ki tehát, mi az elektromágnes, hogyan épül fel, hogy működik.

### 1 Kideritjük, mitől függ az áramjárta tekercs mágneses ereje

Építsünk egy áramforrásból, tekercsből, reosztátból és ampermérőből álló áramkört. A tekercs fölé függesszünk fel dinamométerre egy vashengert. Az áramkör zárása után a hengert vonzani kezdi a tekercs, ennek következtében az még jobban megnyújtja a dinamométer rugóját (27. 1. ábra). Már tudjátok, miért történik ez: az áramjárta tekercs körül mágneses tér van. Ebben a térben a vashenger mágnesezódik és kölcsönhatásba lép a tekercs mágneses terével.



**27. 1. ábra.** Az áramjárta tekercs mágneses hatásának vizsgálata

Azt mondhatjuk, hogy az áramjárta tekercs mágneses hatást gyakorol a vashengerre.

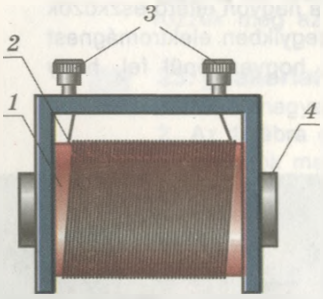
Vizsgáljuk meg, mitől függ a tekercs mágneses hatása. Először is változtassuk meg reosztát segítségével a tekercsben folyó áram erősségét. Az áramerősség változását ampermérővel mérjük. Kiderül, hogy nagyobb áramerősségnél a tekercs jobban vonzza a vashengert, amit a dinamométer mind jobban megnyúló rugója mutat. Az *áramerősség növekedésekor tehát a tekercs mágneses hatása erősödik.*

Cseréljük fel a tekercset egy nagyobb menetszámú tekerccsel. Azt tapasztaljuk, hogy ugyanolyan erősségű áram mellett a nagyobb menetszámú tekercs vonzóereje a nagyobb. A *menetszám növekedésekor tehát a tekercs mágneses hatása növekszik.*

Helyezzünk a tekercs belsejébe egy vasrudat – egy *vasmagot*. Zárjuk az áramkört és azt látjuk, hogy a vashenger „hozzátapadt" a vasmaghoz. *A tekercs mágneses hatása a vasmag behelyezése eredményeképpen lényegesen felerősödött.* Ez azért következik be, mert a tekercsbe egy mágneses anyagból készült testet helyeztünk, ami mágneses tér hatására maga is mágnessé válik. A mágnesezett vasmag mágneses tere sokkal erősebb, mint magának a tekercsnek a mágneses tere.

## 2 Megismerkedünk az elektromágnesek felépítésével és alkalmazásával

A vasmagot tartalmazó tekercset **elektromágnesnek** nevezzük.




**27. 2. ábra.** Az elektromágnes felépítése: *1* csévetest; *2* tekercs; *3* érintkezők; *4* vasmag

Tekintsük át az elektromágnes felépítését (27. 2. ábra). Minden elektromágnes rendelkezik egy szigetelőanyagból készült csévetesttel (*1*). A csévetestre szorosan szigetelt huzal van feltekerve: ez az elektromágnes tekercse (*2*). A tekercsek végeit speciális érintkezőkhöz (*3*) rögzítik, amelyek segítségével az elektromágnes áramkörbe kapcsolható. A csévetestben helyezkedik el a mágneses anyagból készült vasmag (*4*). A vasmag általában patkó alakú, mert az elektromágnes hatása ekkor a legerősebb.

Az elektromágnesek alkalmazási területe igen nagy, mivel mágneses hatásuk a tekercsben folyó áram erősségének változtatásával könnyen szabályozható. Az elektromágnesek alakja és mérete nagyon eltérő lehet.

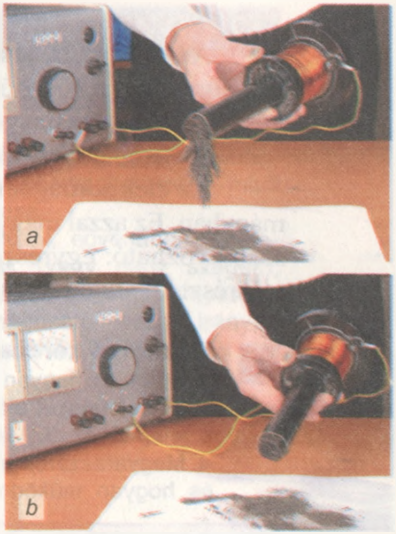
Az elektromágneseket villanymotorokban, generátorokban, transzformátorokban, elektromos mérőműszerekben, telefonokban, mikrofonokban, villanycsengőkben és így tovább alkalmazzák. Mi ezek közül az *emelődaru elektromágnesével és az elektromágneses jelfogóval* (*relé*) ismerkedünk meg.

## 3 Megismerkedünk az elektromágneses emelődaru és az elektromágneses relé működési elvével

Végezzünk el egy kísérletet! Építsünk elektromágnesből és áramforrásból áramkört. Zárva az áramkört azt tapasztaljuk, hogy a vasmag magához vonzotta a vasreszeléket, így könnyedén elmozdíthatjuk azokat, például az asztal másik szélére (27. 3. ábra).

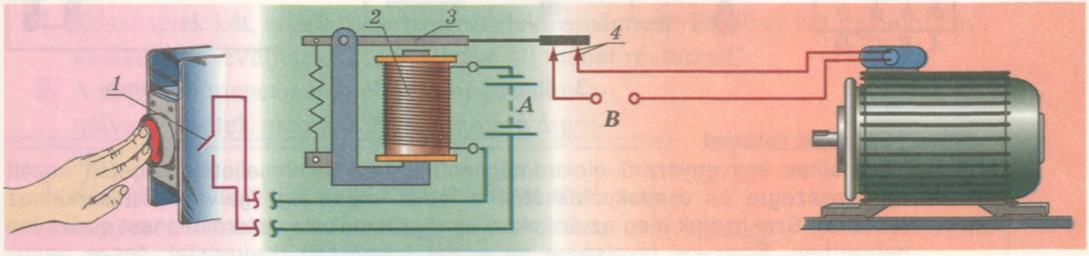
Pontosan ilyen módon működnek az *elektromágneses emelődaruk* (27. 4. ábra), amelyek segítségével vashulladékot, egyéb vasból készült testeket mozgatnak. Használatukkor nincs szükség semmiféle horogra. Zárják az áramkört, a vasból készült tárgyakat magához vonzza a vasmag, így elvihetik azokat a megfelelő helyre; nyitják az áramkört, a vasmag és a tárgyak közötti vonzóerő megszűnik és a tárgyak ottmaradnak, ahová letették őket.

Elektromágneseket alkalmaznak ott is, ahol nagyteljesítményű fogyasztók áramellátását kell biztosítani. A kapcsoló sorba van kapcsolva a fogyasztóval, ezért a kapcsolón erős, olykor száz vagy ezer amper áram folyik majd. Ennek a kapcsolónak a kezelése veszélyeztetheti a személyzet életét. Mit lehet itt tenni? *Elektromágneses jelfogókat* (reléket), az áramkör vezérlésére alkalmas eszközöket lehet használni (27. 5. ábra). Figyeljétek meg, hogy a kapcsoló (*1*) és az elektromágnes (*2*) az *A* gyengeáramú forráshoz vannak kapcsolva, a fogyasztó – jelen esetben a villanymotor – pedig a *B* erősáramú forráshoz.




**27. 3. ábra.** Az áramkör zárása után a vasreszeléket magához vonzza a vasmag (*a*); megszakításakor pedig a vasreszelék lehullik a vasmagról (*b*)

**27. 4. ábra.** Elektromágneses emelődaru




**27. 5. ábra.** Az elektromágneses jelfogó működési elve. Az (*1*) kapcsoló zárása után az elektromágnesen (*2*) gyenge elektromos áram folyik át, ami veszélytelen az emberre. Ennek eredményeképpen az elektromágnes magához vonzza a (*3*) kart. A kar zárja a (*4*) kapcsoló érintkezőit, amely zárja a nagyteljesítményű villanymotort tápláló áramkört

## Összegzés

Az áramjárta tekercs mágneses hatása erősödik, ha növeljük a tekercs menetszámát; ha növeljük a tekercsen átfolyó áram erősségét; ha mágneses anyagból készült rudat – vasmagot – helyezünk a tekercsbe.

A vasmagot tartalmazó tekercset elektromágnesnek nevezzük.

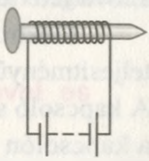
Az elektromágneseket széles körben alkalmazzák a technikában és a tudományban. Ez azzal magyarázható, hogy az elektromágnes mágneses hatása könnyen szabályozható: egyrészt a tekercsen átfolyó áram erősségének megváltoztatása, másrészt az alkalmazott vasmag alakjának és méreteinek megválasztása révén.

## Ellenőrző kérdések

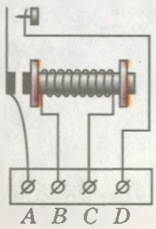
1. Mitől és hogyan függ az áramjárta tekercs mágneses hatása? Magyarázzátok el a feleleteteket alátámasztó kísérletet! 2. Mit nevezünk elektromágnesnek? Milyen a felépítése? 3. Miért alkalmazzák nagyon széles körben az elektromágneseket? 4. Magyarázzátok el az elektromágneses emelődaru működését! 5. Mire szolgálnak és hogyan működnek az elektromágneses jelfogók?

## 24. gyakorlat

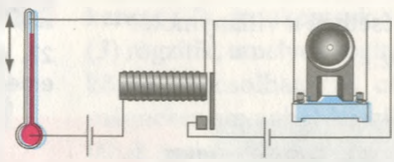
1. Ha szigetelt huzalt tekerünk egy vasszegre és annak végeit egy galvánelemekből álló telephez kapcsoljuk, igen egyszerű elektromágnest kapunk (1. ábra). Határozzátok meg az elektromágnes pólusainak helyét! Feleleteteket indokoljátok!
2. Az elektromágneses relé (2) melyik csatlakozóihoz kell kapcsolni a gyengeáramú (vezérlő) áramforrást?
3. A 3. ábrán egy olyan automata vázlatát láthatjuk, amelyik bizonyos hőmérséklet elérésekor vált. Nevezzétek meg az automata részeit és magyarázzátok meg a működési elvét! Hol célszerű az ilyen automaták alkalmazása?
4. Hogyan változik meg az elektromágnes emelőereje, ha a reosztát csúszkáját jobbra toljuk (4. ábra)? Feleleteteket indokoljátok!



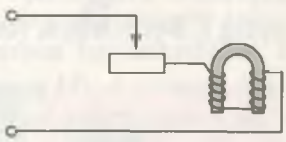
1. ábra




2. ábra



3. ábra



4. ábra

## Kísérleti feladat

Készítsetek egy egyszerű elektromágnest! Ehhez tekercseljetek szigetelt huzalt egy vasszegre és csatlakoztassátok a huzal végeit egy galvántelep sarkaihoz (1. ábra). Szakítsátok meg az áramkört és rögzítsétek az elektromágnest vízszintes helyzetben, bizonyos távolságra az asztal felszínétől. Keverjetek össze papírdarabkákat, rizsszemeket, apró vastárgyakat (vasreszeléket). Zárjátok az áramkört. Szórjátok le lassan a keveréket a szeg feje előtt és válasszátok ki a vasból készült tárgyakat! Gondolkodjatok el azon, hol és mire lehetne használni egy hasonló eszközt!

## 10. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** Egyszerű elektromágnes készítése és kipróbálása.

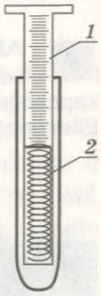
**Cél:** megtanulni a legegyszerűbb elektromágnes elkészítését és meghatározni, mitől függ annak hatása.

**Eszközök:** állvány, rézhuzal, egyenáramú áramforrás, vasrudak (vagy nagy szegek), szonda, vasreszelék, reosztát, kapcsoló, ampermérő, mágnestű vagy iránytű, összekötő vezetékek.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Elméleti tudnivalók

Az elektromágnes mágneses hatásának felmérésére használhatjuk az 1. ábrán látható *szondát* (mintavevő eszköz). Esetünkben a szonda egy műanyag tokban elhelyezett rugóra (*2*) rögzített acél lapocska (*1*). Ha a szondát az elektromágneshez közelítjük, annak mágneses tere kölcsönhatásba lép a szonda acél lapocskájával. A lapocskát annál erősebben vonzza az elektromágnes, minél erősebb a mágneses hatás. A vonzóerő értékét az acél lapocskán elhelyezett skáláról olvashatjuk le. Ha nem áll rendelkezésünkre ilyen szonda, az elektromágnes mágneses hatását egy dinamométerre felfüggesztett kisméretű acéltárgy segítségével is mérhetjük.



1. ábra

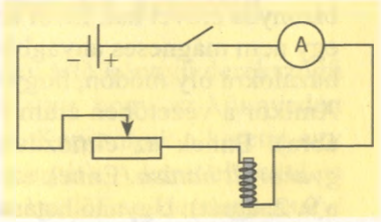
#### Előkészület a kísérlethez

A munka megkezdése előtt idézzétek fel emlékezetetekben:

1) az elektromos árammal végzett munka során betartandó biztonsági előírásokat;
2) hogyan függ az elektromágnes mágneses hatása a menetszámtól, a tekercsen átfolyó áram erősségétől és a vasmag meglététől.

#### Kísérlet

1. Készítsetek két, eltérő menetszámú elektromágnest! E célból két ugyanolyan vasszegre csévéljetek fel 20, illetve 40 menet rézhuzalt!
2. A nagyobb menetszámú elektromágnest használva építsétek meg a 2. ábrán látható áramkört!
3. Zárjátok az áramkört és győződjetek meg arról, hogy az elektromágnes vonzza a vasreszeléket, azaz mágneses tulajdonságokat mutat!
4. Mágnestű segítségével határozzátok meg az elektromágnes pólusait! Írjátok le ennek menetét!



2. ábra

**5.** Állapítsátok meg, mitől függ az elektromágnes mágneses hatása! A kísérletek eredményeit jegyezzétek le a füzetetekbe!

1) Reosztát segítségével állítsátok be a nagyobb menetszámú elektromágnes tekercsében folyó áram erősségét 0,5 A, majd 1,5 A értékre! Hasonlítsátok össze az elektromágnes mágneses hatását a két áramerősség-érték mellett!
2) Vegyétek ki az elektromágnesből a vasmagot, majd állítsátok be a tekercsen átfolyó áram erősségét 1,5 A értékűre! Határozzátok meg, hogyan befolyásolja a vasmag megléte az elektromágnes mágneses hatásának mértékét!
3) Építsétek a 2. ábrán látható áramkörbe a kisebb menetszámú elektromágnest! Reosztát segítségével állítsátok be az áramerősséget 1,5 A-re! Mérjétek fel, hogyan befolyásolja a menetszám csökkenése az elektromágnes mágneses hatását!

### A kísérlet eredményeinek elemzése

Elemezzétek a kísérletet és eredményeit! Vonjatok le következtetést azzal kapcsolatban, hogy: hogyan függ az elektromágnes mágneses hatása a rajta átfolyó áramerősségtől, a menetszámától és a vasmag meglététől!

### Alkotói feladat

Lehetséges-e olyan elektromágnest készíteni, hogy amikor azt az áramkörbe kapcsoljuk, mindkét végén déli mágneses pólusa legyen? Ha igen, milyen módon? Ellenőrizzétek feltételezéseteket kísérleti úton!

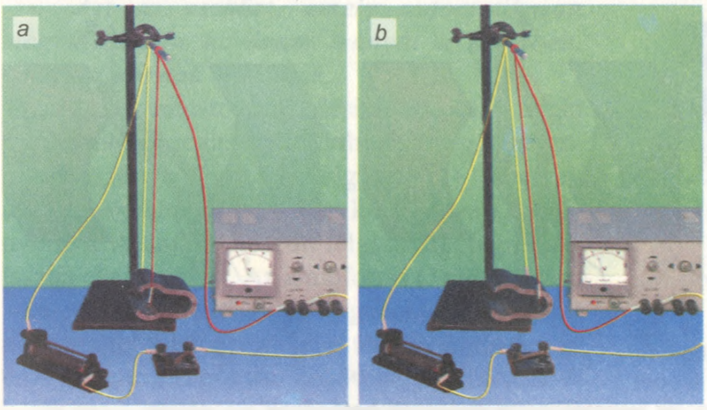
## 28. §. A MÁGNESES TÉR HATÁSA AZ ÁRAMJÁRTA VEZETŐRE. A BALKÉZ-SZABÁLY. ELEKTROMOTOROK

A tudományos érdeklődés céljából elvégzett fizikai kísérletek siker esetén általában a műszaki fejlődés új korszakának kezdetét is jelentik egyben. Így történt ez az elektromágneses jelenségek tanulmányozása esetében is. Még nem is olyan régen használjuk, de már el sem tudjuk képzelni életünket az ökológiailag tiszta, kis helyen elférő, kényelmes villanymotorok nélkül, amelyek az elektromos áram energiáját mechanikai energiává alakítják.

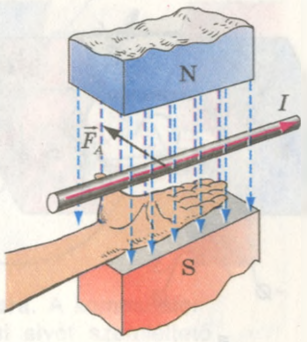
Ebben a paragrafusban arról lesz szó, hogyan alakítható át az elektromos energia mechanikai energiává.

### 1 Megismerjük az áramjárta vezetőre ható erőt

A 26.§-ból már megtudtuk, hogy a mágneses tér az áramjárta vezetőre bizonyos erővel hat. Erről tapasztalatilag is könnyen meggyőződhetünk. Vegyünk egy nem mágneses anyagból készült vezetőt és függesszük fel vékony hajlékony huzalokra oly módon, hogy egy mágnespatkó pólusai közzé essen (28. 1. *a* ábra). Amikor a vezetőben áram folyik, az kimozdul egyensúlyi helyzetéből (28. 1. *b* ábra). Ennek az elmozdulásnak az oka *a mágneses tér áramjárta vezetőre gyakorolt hatása.* Ennek az erőnek a létezését Ampere bizonyította először (lásd a 9. 2. ábrát). Ugyanő határozta meg, hogy mitől függ ez az erő, és milyen irányú. Ezért nevezzük ezt az erőt *Ampere-féle erőnek.*




**28. 1. ábra.** A mágneses tér alumíniumból készült áramjárta vezetőre gyakorolt hatásának bemutatása: áram hiányában a mágneses tér nem hat a vezetőre (*a*); amikor a vezetőben áram folyik, az kilendül egyensúlyi helyzetéből (*b*)




**28. 2. ábra.** Az Ampere-féle erő ($\vec{F}_A$) irányát a balkéz-szabály segítségével határozzák meg

Az **Ampere-féle erőnek** a mágneses tér által az áramjárta vezetőre ható erőt nevezzük.

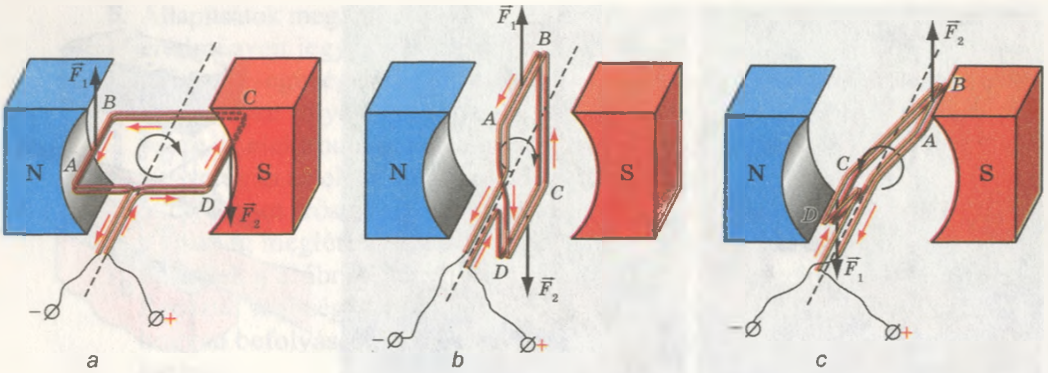
Kísérletileg bizonyított, hogy *az Ampere-féle erő egyenesen arányos a vezetőben folyó áram erősségével és a vezető azon szakaszának hosszával, amely a mágneses térben helyezkedik el.* (A vezetőnek azt a részét, amely mágneses térben helyezkedik el, a vezető *aktív részének nevezik.*) *Az Ampere-féle erő növekszik a mágneses tér erejének növekedésével és értéke függ a vezetőnek a mágneses tér erővonalaihoz képest elfoglalt helyzetétől is.* Az Ampere-féle erő *maximális*, ha a vezető *merőleges* a mágneses tér erővonalaira és *nullával egyenlő*, ha a vezető *párhuzamos* az erővonalakkal.

Az *Ampere-erő irányát* a **balkéz-szabály** segítségével határozzuk meg (28. 2. ábra).

Ha bal kezünket úgy helyezzük el, hogy a mágneses tér erővonalai a tenyerünkre merőlegesen essenek, és négy kinyújtott ujjunk a vezetőben folyó áram irányát mutassa, akkor a derékszögben kinyújtott hüvelykujjunk az Ampere-féle erő irányát mutatja.

## 2 Tanulmányozzuk a mágneses tér vezetőkeretre gyakorolt hatását

Vegyünk egy néhány menetnyi szigetelt huzalból álló könnyű derékszögű keretet és helyezzük azt egy mágnes pólusai közé úgy, hogy az könnyedén foroghasson a vízszintes tengely körül (28.3. *a* ábra). Kapcsoljuk a keretet egy áramforráshoz (a rajzon piros nyíl mutatja az áram irányát). A keret elfordul és néhány lengés után a 28.3. *b* ábrán látható helyzetben megáll. Ez a *keret egyensúlyi helyzete.*




**28. 3. ábra.** A mágneses tér vezetőkeretre gyakorolt hatásának vizsgálata

*a* – az $\vec{F}_1$ és $\vec{F}_2$ Ampere-féle erők az óramutató járásával megegyező irányban fordítják el a keretet;

*b* – egyensúlyi helyzetben az Ampere-féle erők nem forgatják, hanem széthúzzák a keretet;

*c* – az egyensúlyi helyzetet elhagyva az Ampere-féle erők az óramutató járásával ellentétes irányban forgatják a keretet

Gondoljuk végig, miért kezdett el a keret forogni. A balkéz-szabályt alkalmazva határozzuk meg, mekkora Ampere-féle erő hat a keret egyes oldalaira a megfigyelés kezdetekor. A 28. 3. *a* ábrán láthatjuk, hogy az *AB* oldalra ható $F_1$ erő felfelé irányul, a *CD* oldalra ható $F_2$ erő pedig lefelé. Mindkét erő tehát az óramutató járásával megegyező irányban forgatja a keretet.

Most határozzuk meg, miért szűnt meg a keret mozgása. Ennek oka az, hogy amikor a keret túlhalad az egyensúlyi helyzetén, akkor az $F_1$ és $F_2$ Ampere-féle erők iránya megváltozik, ezért ezek most már az óramutató járásával ellenkező irányban forgatják a keretet (28. 3. *c* ábra). (Erről a balkéz-szabály alkalmazásával győzőhetünk meg.) Ezért a keret az ellenkező irányba fordul el, majd, miután túlhalad egyensúlyi helyzetén, a forgás iránya ismét megváltozik. Mindennek eredményeképpen és a súrlódás hatására a keret végül is megáll.

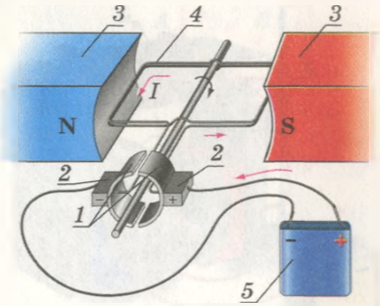
## 3 Megismerkedünk a kommutátor működési elvével

A mágneses tér áramjárta vezetőkeretre gyakorolt forgató hatását az ***elektromotorok*** – *a villamos energiát mechanikai energiává alakító eszközök* – létrehozásakor hasznosították. Hogy megértsük a villanymotor működését, ki kell találni, mi módon kényszeríthetnénk a vezetőkeretet folyamatos forgásra, mondjuk az óra járásával megegyező irányban.

Könnyű kitalálni: ehhez arra van szükség, hogy a keret bal oldalára ható erő ($F_1$) iránya mindig felfelé, a jobb oldalra ható ($F_2$) erő iránya pedig mindig lefelé mutasson (28. 3. ábra). Vagyis, figyelembe véve a balkéz-szabályt, azt kell elérni, hogy a keret bal oldalában az áram mindig felénk, jobb oldalában pedig mindig ezzel ellentétesen irányuljon. Más szóval, amikor a keret áthalad az egyensúlyi helyzetén, az áram irányát ellentétesre kell változtatni.

*Azt az eszközt, amely automatikusan megváltoztatja az áram irányát a keretben,* ***kommutátornak*** *nevezzük.*

A kommutátor működési elvét a 28. 4. ábrán látható modell segítségével érthetjük meg. A kommutátor lényegében két félgyűrű (*1*), amelyek mindegyikéhez egy-egy fém kefe (*2*) van hozzányomva. A fémből készült félgyűrűket légrés választja el egymástól. Az áramforrás (*5*) feszültsége a kerethez (*4*) a kefék segítségével jut el. A keret könnyen foroghat a vízszintes tengely körül és egy erős mágnes (*3*) pólusai között helyezkedik el. A kefék egyikét az áramforrás pozitív, másikát pedig a negatív pólusához csatlakoztatják.




**28. 4. ábra.** A kommutátor működési elvét szemléltető modell: *1* félgyűrűk; *2* fém kefék; *3* állandó mágnes; *4* a vízszintes tengely körül forgó keret; *5* áramforrás

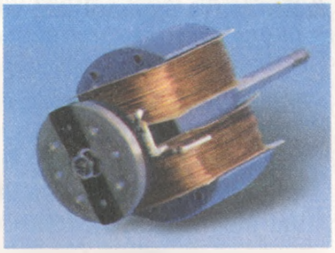
A kör zárásakor a keret az Ampere-féle erő hatására az óramutató járásával megegyező irányban kezd forogni. A félgyűrűk a kerettel együtt forognak, a kefék pedig nyugalomban maradnak. Emiatt, amikor a keret túlhalad az egyensúlyi helyzetén, a félgyűrűk már nem ahhoz a kefével nyomódnak majd mint kezdetben, hanem az ellenkező oldaliakhoz. Az áram iránya a keretben ezért ellenkezőjére változik, a forgás iránya pedig megmarad.

## 4 Növeljük a villanymotor teljesítményét és biztosítjuk forgásának egyenletességét

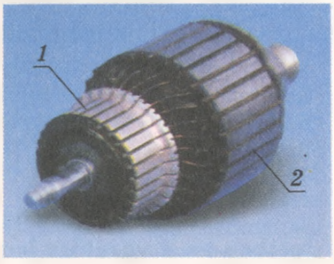
A motor teljesítménye úgy növelhető, ha növeljük a keret forgását biztosító Ampere-féle erőt.

Mivel az Ampere-féle erő egyenesen arányos a vezető hosszával, a villanymotorok tekercsei nagy menetszámúak, ilyen módon a felhasznált vezető hosszúsága is nagy. A tekercset egy acélhenger speciálisan kialakított hornyaiba helyezik el. A henger egyben vasmag is, ami a tekercs mágneses erejét jelentősen növeli. A vasmag és a tekercs a motor forgórésze vagy *rotora* (a latin *rotare* – forogni szóból) (28. 5. ábra).

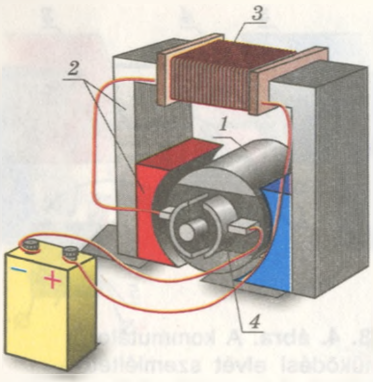
A motor egyenletes forgását úgy biztosítják, hogy egy vasmagra több tekercset helyeznek el. Az ilyen motor kommutátora nem két félgyűrűből áll, hanem több rézívből, amelyek egy szigetelő aljzaton helyezkednek el (28. 6. ábra).



**28. 5. ábra.** A motor forgórésze egyetlen tekerccsel




**28. 6. ábra.** Tizenkét tekercses motor kommutátora (*1*) és rotora (*2*)




**28. 7. ábra.** Az egyenáramú villanymotor vázlata: *1* rotor; *2* állórész; *3* az állórész tekercse; *4* kommutátor

A rotor (*1*) egy erős elektromágnes mágneses terében forog (28. 7. ábra). Ez az elektromágnes egységes egészet alkot a motor házával és annak *sztátorául** (a latin *stator* – mozdulatlanul álló) (*2*) szolgál. Az állórész tekercsét ugyanahhoz az áramforráshoz kapcsolják, mint a forgórészét. A motor működése leegyszerűsítve: amikor a forgórész és az állórész tekercseiben áram folyik, a rotor forog a sztátor mágneses terében.

## 5 Alkalmazzuk a villanymotort

Az egyenáramú villanymotorok egyik fő felhasználási területe a közlekedés. Ilyen motorok működtetik a villamost, a trolibuszt, a villanymozdonyt, az elektromobilt, a gépkocsik indítómotorjait. Az iparban és a háztartásban ezenkívül váltóáramú motorokat is használnak, amelyek működésével a későbbiekben majd megismerkedhettek.

Az villanymotoroknak sok előnye van a hőerőgépekkel szemben. Méreteik kisebbek, gazdaságosabbak (hatásfokuk elérheti a 98%-ot), használatuk kényelmes (könnyen szabályozható a teljesítményük). Ezenkívül a villanymotorok nem szennyezik a környezetet.

## 6 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Bizonyítsátok be, hogy két párhuzamos vezető, amelyekben az áram iránya ugyanolyan, vonzza egymást!

*A probléma elemzése*

Minden áramjárta vezető mágneses teret kelt maga körül, tehát mindkét vezető a másik mágneses terében helyezkedik el. Az első vezetőre a másik mágneses tere Ampere-féle erővel hat, ugyanez igaz megfordítva is. Az Ampere-erő irányát a balkéz-szabály segítségével határozhatjuk meg, és így már meg tudjuk mondani, hogy azok vonzzák vagy taszítják egymást.

*Megoldás*

A feladat megoldását célszerű egy magyarázó rajz elkészítésével kezdeni, ahol feltüntetjük az *A* és *B* vezetőt, valamint az azokban folyó áram irányát (1. ábra).

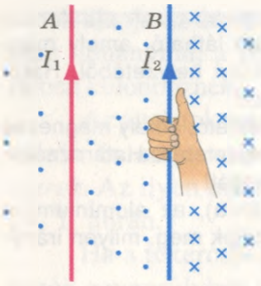
Vizsgáljuk meg, milyen erő hat az *A* vezetőre a *B* mágneses terében.

1. A jobbkéz-szabály segítségével meghatározzuk a *B* vezető mágneses tere erővonalainak irányát (a • jel azt jelenti, hogy az erővonalak felénk mutatnak, az × jel pedig az ellenkező irányultságot). Azt látjuk, hogy az *A* vezető környezetében a mágneses tér erővonalai felénk mutatnak (lásd az 1. ábrát).

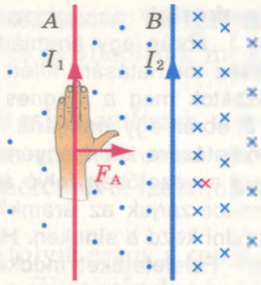
2. A balkéz-szabályt alkalmazva meghatározzuk a *B* vezető mágneses terében az *A* vezetőre ható erő irányát (2. ábra).

3. Levonjuk a következtetést: az *A* vezetőt vonzza a *B* vezető.

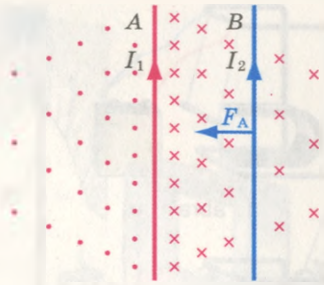
* A sztátort nevezik még armatúrának és állórésznek is.




1. ábra




2. ábra




3. ábra

Vizsgáljuk meg, milyen erő hat a *B* vezetőre az *A* mágneses terében.

1. Meghatározzuk az *A* vezetőben folyó áram által keltett mágneses tér erővonalainak irányát (3. ábra).

2. Meghatározzuk ebben a mágneses térben a *B* vezetőre ható Ampere-féle erő irányát.

3. Levonjuk a következtetést: a *B* vezetőt vonzza az *A* vezető.

*Felelet*: két olyan párhuzamos vezető, amelyekben az áram iránya megegyezik, vonzza egymást.

## Összegzés

Az áramjárta vezetőre mágneses térben ható erőt Ampere-féle erőnek nevezzük.

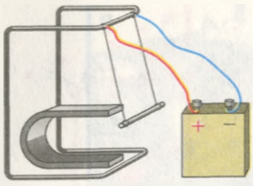
Az Ampere-féle erő irányát a balkéz-szabály segítségével határozzuk meg: ha a bal kezünket úgy helyezzük el, hogy a mágneses tér erővonalai a tenyerünkbe hatoljanak és négy kinyújtott ujjunk a vezetőben folyó áram irányát mutassák, akkor a derékszögben kinyújtott hüvelykujjunk az Ampere-féle erő irányát mutatja.

Az Ampere-féle erő hatására az áramjárta keret mágneses térben elfordul. A vezetőkeret mágneses térben történő forgását a villanymotorokban alkalmazzák. A motor forgórésze – a rotor – vasmagból és tekercsekből áll, amelyek áramellátását a kommutátor biztosítja. A rotor egy erős elektromágnes – a sztátor – mágneses terében forog.

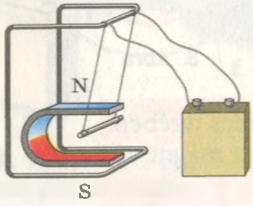
A villanymotorok több előnyös tulajdonsággal rendelkeznek a hőerőgépekkel szemben: kisebbek, gazdaságosabbak, használatuk kényelmesebb és nem szennyezik a környezetet.

## Ellenőrző kérdések

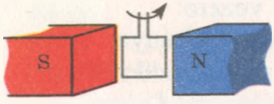
**1.** Hogyan bizonyítható kísérletileg, hogy az áramjárta vezetőre mágneses térben erő hat? **2.** Határozzátok meg az Ampere-féle erőt! **3.** Mitől függ az Ampere-féle erő nagysága? **4.** Fogalmazzátok meg az Ampere-féle erő irányának meghatározására szolgáló szabályt! **5.** Miért fordul el az áramkeret mágneses térben? Miért áll meg? **6.** Nevezzétek meg az villanymotor legfontosabb részeit! Melyik alkatrész „okozza" a motor keretének folyamatos forgását? Milyen felépítésű? **7.** Miből áll a villanymotor forgórésze? **8.** Miből áll a villanymotor állórésze? **9.** Milyen előnyös tulajdonságai vannak a villanymotoroknak a hőerőgépekkel szemben?



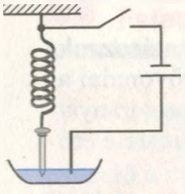
1. ábra




2. ábra



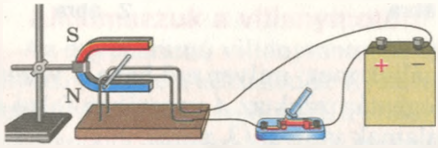

4. ábra



5. ábra

## 25. gyakorlat

1. Az 1. ábrán egy áramjárta vezető látható, amely mágneses tér hatására kitért egyensúlyi helyzetéből. Határozzátok meg a mágnes pólusait!
2. A 2. ábrán egy áramjárta vezető látható, amely mágneses tér hatására kitért egyensúlyi helyzetéből. Határozzátok meg a vezetőben folyó áram irányát!
3. Amikor zárjuk az áramkört (3. ábra), az alumíniumrúd gurulni kezd a sineken. Határozzátok meg, milyen irányban! Feleleteteket indokoljátok!




3. ábra

4. A 4. ábrán egy állandó mágnes mágneses terében forgó vezetőkeretet láthatunk. Határozzátok meg a keretben folyó áram irányát!
5. Bizonyítsátok be, hogy két párhuzamos vezető, amelyekben az áram iránya ellentétes, taszítja egymást!
6. Az villanymotoroknak számos előnye van a hőerőgépekkel szemben. Miért nem mondott le az emberiség a hőerőgépek alkalmazásáról?
7. Egy érzékeny fém rugó végéhez egy vasszeg van rögzítve, amelynek másik vége konyhasó oldatába lóg bele (5. ábra). Mi történik az áramkör zárásakor?

## Kísérleti feladat

Vizsgáljátok meg egy játékból kiszerelt villanymotor szerkezetét! Kössétek a motort egy telephez és figyeljétek meg forgásának irányát! Hogyan lehetne a forgásirányt ellenkezőjére változtatni? Ellenőrizzétek feltételezéseteket!

# 29. §. ELEKTROMOS MÉRŐMŰSZEREK. HANGSZÓRÓ

?! Az elektromos áram tanulmányozása során az áramerősséget ampermérővel, a feszültséget voltmérővel mértük. De eddig egyszer se vizsgáltuk meg ezeknek a műszereknek a felépítését, mivel ennek megértéséhez nem rendelkeztünk elegendő tudásssal. Most azonban már készek vagyunk e tudás befogadására.

## 1 Megismerkedünk a magnetoelektromos (lengőtekercses) műszerek működési elvével

*Az elektromos mérőműszerek igen sokfélék lehetnek: magnetoelektromosak, elektromágnesesek, elektrodinamikusak.* Mindezen műszerek működé-

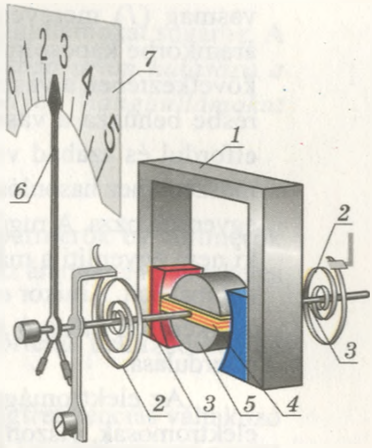
sének alapja az áram mágneses hatása. Vizsgáljuk meg néhánynak a felépítését és állapítsuk meg, miben különböznek.

Az általatok már ismert galvanométerek, voltmérők és ampermérők *magnetoelektromos műszerek*. Az ilyen műszerek mérőművét láthatjuk a 29. 1. ábrán.

Ha a tekercsben nem folyik áram, a spirálrugók egyensúlyban tartják a féltengelyeket és az azokhoz rögzített mutatót oly módon, hogy a mutató a nullán álljon. Amikor a műszeren, s ezáltal a tekercsen keresztül áram folyik, az Ampere-féle erő hatására a lengőtekercs elfordul. A tekerccsel együtt fordulnak a féltengelyek és a mutató is. A tekercs forgása a rugók állapotát is megváltoztatja, ezért a tekercsre még az így létesülő rugalmassági erők is hatnak. Amikor a rugalmassági erők nyomatékai kiegyensúlyozzák az Ampere-féle erő nyomatékát, a féltengelyek elfordulása megáll, a mutató pedig az eredeti helyzetéhez képest meghatározott szöggel lesz elfordulva.

Minél nagyobb a lengőtekercsen átfolyó áram erőssége, annál nagyobb a mutató elfordulási szöge, tehát annál nagyobb értéket mutat a műszer.

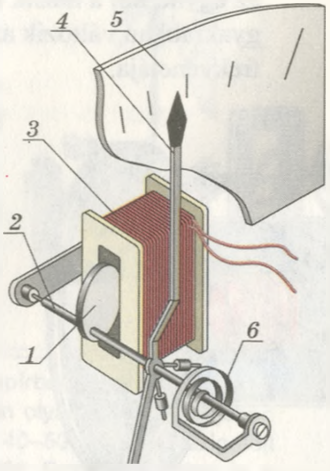
A magnetoelektromos mérőműszerek nagyon pontosak és igen érzékenyek.




**29. 1. ábra.** A magnetoelektromos mérőműszerek mérőműve: *1* mozdulatlan állandó mágnes; *2* spirálrugók; *3* féltengelyek, amelyekhez mereven van rögzítve a *4* lengőtekercs; *5* mozdulatlan vasmag; *6* mutató; *7* skála

## 2 Összehasonlítjuk az ampermérőt és a voltmérőt

Az ampermérő és voltmérő belső felépítése majdnem ugyanolyan, csak elektromos ellenállásukban különböznek. Mivel az ampermérőt sorosan kapcsoljuk az áramkörbe, ellenállása a lehető legkisebb kell hogy legyen, különben a műszer jelentősen befolyásolná az áram erősségét az áramkörben. A voltmérőt viszont párhuzamosan kapcsoljuk az áramkörbe, ezért ellenállása a lehető legnagyobb kell legyen, hogy a kör áramerősségét ne befolyásolja.




**29. 2. ábra.** Az elektromágneses műszer mérőművének vázlata: *1* mozgó vasmag; *2* tengely; *3* tekercs; *4* mutató; *5* skála; *6* spirálrugó

## 3 Tanulmányozzuk az elektromágneses mérőműszerek belső felépítését

A 29. 2. ábra *az elektromágneses mérőműszerek felépítésének vázlatát* szemlélteti. A lengő

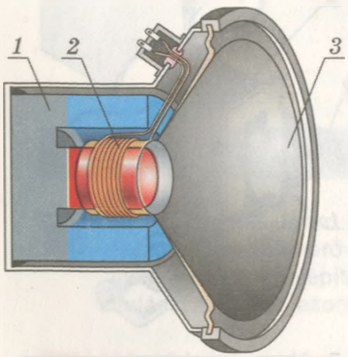
vasmag (*1*) mereven van a tengelyhez (*2*) rögzítve. Amikor a műszert áramkörbe kapcsoljuk, az elektromágnes (*3*) tekercsét áram járja át, ennek következtében a vasmag mágneseződik és a tekercs a tengelyében kiképzett résbe behúzza a vasmagot. A vasmaggal együtt a műszer mutatója (*4*) is elfordul és szabad vége elmozdul a skála (5) előtt. A magnetoelektromos műszerekhez hasonlóan (lásd 1. pont), a tengely elfordulását egy spirálrugó (*6*) egyensúlyozza. A rugó addig csavarodik el, amíg a rugalmassági erő nyomatéka ki nem egyenlíti a mágneses tér vasmagra gyakorolt hatása miatt ébredő erő nyomatékát. Amikor ez megtörténik, a műszer mutatója megáll. Minél nagyobb a tekercsen átfolyó áram erőssége, annál nagyobb a műszer mutatójának elfordulása.

Az elektromágneses műszerek kevésbé érzékenyek, mint a magnetoelektromosak, viszont nagyobb a terhelhetőségük.

## 4 Megismerkedünk az elektrodinamikus hangszóró működési elvével

Ha egy tekercset állandó mágnes mágneses terébe helyezünk, akkor azt a mágnes a tekercsen áthaladó áram irányától függően vagy vonzani, vagy taszítani fogja.

Mi történik, ha a tekercsre váltakozó áramot kapcsolunk? Az áram erősödésekor a tekercset mind jobban vonzza majd a mágnes, az áramerősség csökkenésekor pedig a kettőjük kölcsönhatási ereje csökken és a tekercs mozgásának iránya ellenkezőjére változik. Amennyiben a tekercsen átfolyó áramerősség periodikusan váltakozik, akkor a tekercs a változás ütemében hol az egyik, hol a másik irányban fog mozogni, azaz rezgőmozgást végez. Minél gyakrabban változik az áram iránya, annál nagyobb lesz a tekercs rezgéseinek frekvenciája.




**29. 3. ábra.** Az elektrodinamikus hangszóró felépítése: *1* E keresztmetszetű gyűrűmágnes; *2* tekercs; *3* hangszórókosár

Azt már tudjátok, hogy az a test, amelyik 20 és 20 000 Hz közötti frekvencián rezeg, hanghullámokat kelt. Ha tehát a tekercs rezgéseinek frekvenciája a fenti határok közé esik, a tekercs hangforrásként viselkedik majd. Az általa kisugárzott hang erősségét a rezgés amplitúdója, magasságát pedig a frekvenciája határozza meg.

A tekercs váltakozó áram hatására végzett rezgéseit az *elektrodinamikus hangszórókban* (29. 3. ábra) alkalmazzák. A hangszórók hanghullámok keltésére szolgáló elektroakusztikai eszközök. Amikor a hangszórón keresztül áram folyik, akkor a tekercs az áramerősség váltakozásának ütemében a mágnes légrésének irányában vagy ezzel ellentétes irányban mozog. Ennek eredményeképpen a tekercshez rögzített hang-

szórókosár hangfrekvenciás rezgéseket végez és hanghullámokat sugároz. A hangszóró *tekercsén átfolyó hangfrekvenciás váltakozó áram hatására a kosár olyan mechanikus rezgéseket végez, amelyek hanghullámokat keltenek.*

## Összegzés

A fizikaórákon használt galvanométerek, ampermérők és voltmérők magnetoelektromos mérőműszerek. Működésük alapja az áramjárta lengőtekercs állandó mágnes mágneses terében való elfordulása.

A vasmagnak az elektromágnes légrésébe történő behúzódását az elektromágneses műszerekben alkalmazzák.

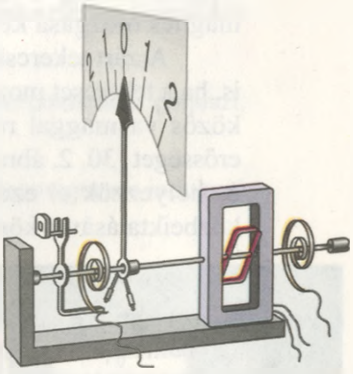
Az elektrodinamikus hangszórók tekercse a hangfrekvenciás váltakozó áram hatására mozog az állandó mágnes légrésében. A lengőtekerccsel együtt rezeg a hanghullámok keltésére szolgáló kosár.

## Ellenőrző kérdések

1. Ismertessétek a magnetoelektromos mérőműszerek felépítését és működési elvét! 2. Különbözik-e az ampermérő és a voltmérő felépítése és működése? Ha igen, akkor miben? 3. Ismertessétek az elektromágneses mérőműszerek felépítését és működési elvét! 4. Ismertessétek a hangszóró felépítését és működését!

## 26. gyakorlat

1. A magnetoelektromos műszerek kapcsai „+", illetve „–" jellel vannak megjelölve. Mi történik, ha egy ilyen műszert fordított polaritással kapcsolunk az áramkörbe? Miért nincs feltüntetve polaritás az elektromágneses műszerek kapcsain?
2. Az ampermérő alig változtatja meg a körben folyó áram erősségét. Miért? Válaszotokat indokoljátok meg!
3. Ha a voltmérőt sorosan kapcsoljuk az áramkörbe, akkor abban az áramerősség lényegesen megváltozik. Miért? Feleleteteket indokoljátok!
4. Az ábrán elektrodinamikus mérőműszer látható. Magyarázzátok el a működését!



## Kísérleti feladat

Készítsétek el egy galvanométer modelljét! Kartonpapírból ragasszatok össze egy 25–30 mm hosszú tekercstartót! Átmérője legyen olyan, hogy belsejében elférjen egy iránytű. A tekercstartóra csévéljetek fel 40–50 menetnyi szigetelt huzalt, majd a tekercsbe helyezzétek be az iránytűt! Ezzel már kész is a galvanométer. Magyarázzátok meg a működési elvét! Fogja-e mérni a műszeretek az áramerősséget, vagy csak kimutatja az áram jelenlétét? A saját galvanométereteket használva állapítsátok meg a házi készítésű galvánelemetek – egy réz és egy vas huzal, amelynek végei ecet vizes oldatába vannak mártva – kapcsainak polaritását!

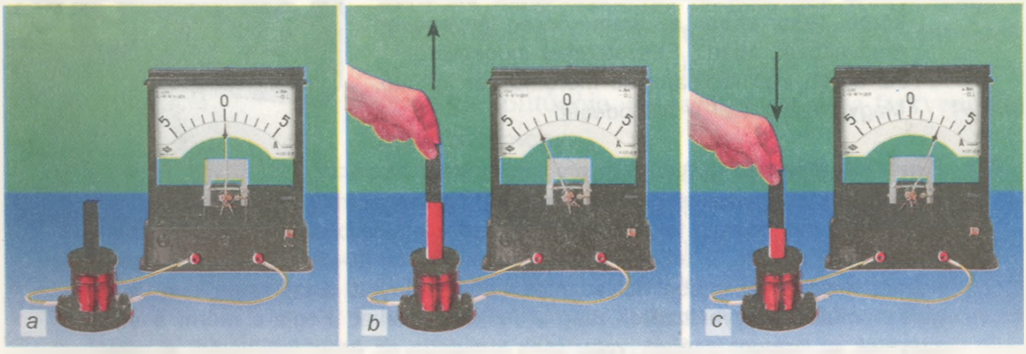
# 30. §. FARADAY KÍSÉRLETEI. AZ ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ JELENSÉGE

Oersted kísérletei (26. 1. ábra), amelyekkel a dán tudós lerakta az elektromágnesség elméletének alapjait, bebizonyították, hogy az elektromos áramnak mágneses tere van. Vajon meg lehet-e fordítani a folyamatot, azaz előállítható-e mágneses tér segítségével elektromos áram? 1831. augusztus 29-én, több mint 16 ezer kísérlet elvégzése után Michael Faraday (19. 4. ábra) angol fizikus és kémikus sikeresen állított elő elektromos áramot állandó mágnes segítségével. Ebben a paragrafusban arról lesz szó, milyen kísérleteket végzett el Faraday, és milyen jelentőséggel voltak ezek a kísérletek a fizika és a technika további fejlődésére.

## 1 Megismételjük Faraday kísérleteit

Helyezzünk el egy állandó mágnest egy tekercs belsejébe, majd kössük a tekercs végeit egy galvanométerhez (30. 1. *a* ábra). Ha kihúzzuk a mágnest a tekercsből észrevesszük, hogy a *mágnes mozgása során* a galvanométer mutatója balra lendül ki (30. 1. *b* ábra). Amint a mágnes mozgása megszűnik, a galvanométer mutatója visszatér nyugalmi helyzetéhez. Most mozgassuk a mágnest a tekercs belseje felé. A mágnes mozgásakor a galvanométer mutatója most is kilendül, de ezúttal az ellenkező irányba (30. 1. *c* ábra). Amint a mágnes megáll, a galvanométer mutatója ismét visszatér nyugalmi helyzetéhez. Megállapíthatjuk tehát, hogy *a tekercsben csak akkor folyik áram, ha a mágnes mozog a tekercshez képest.* Itt jegyezzük meg, hogy nemcsak a mágnes mozgása kelt a tekercsben elektromos áramot.

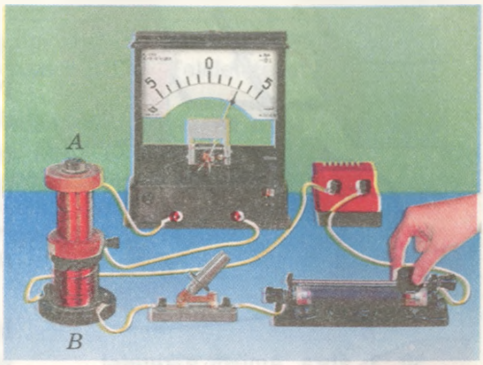
A zárt tekercsben elektromos áram keletkezését figyelhetjük meg akkor is, ha a tekercset mozgatjuk a mágneshez képest, vagy egy, a vizsgált tekerccsel közös vasmaggal rendelkező másik tekercsben megváltoztatjuk az áramerősséget (30. 2. ábra). Győződjünk meg erről! Vegyünk két (*A* és *B*) tekercset, és helyezzük el ezeket ugyanarra a vasmagra. A *B* tekercset egy reosztát közbeiktatásával kössük egy áramforráshoz, az *A* tekercset pedig kapcsoljuk a




**30. 1. ábra.** A tekercsben folyó áramot galvanométerrel mutatjuk ki: *a* ha a mágnes mozdulatlan, a tekercsben nincs áram; *b* amikor a mágnes a tekercsből kifelé mozog, a mutató balra fordul el; *c* amikor a mágnes a tekercsben befelé mozog, a mutató jobbra lendül ki

galvanométerhez. Ha most lassan jobbra-balra mozgatjuk a reosztát csúszkáját, azt tapasztaljuk, hogy amikor a *B* tekercsben megváltozik az áram erőssége, az *A* tekercsben áram indukálódik. A galvanométer mutatója az *áramerősség* növekedésekor az egyik, csökkenésekor pedig a másik irányba tér ki. Az *A* tekercsben áram keletkezik a *B* tekercs körének zárásakor és nyitásakor is.

Az elvégzett kísérletek mai változatai annak a Michael Faraday által 10 évig végzett kísérletsorozatnak, amelynek eredményeképpen arra a következtetésre jutott, miszerint *egy zárt tekercsben elektromos áram csak akkor keletkezik, ha megváltozik a tekercset átható mágneses tér.* Az ilyen áramot *indukciós áramnak* nevezzük.




**30. 2. ábra.** Ha zárjuk vagy nyitjuk a *B* tekercs áramkörét, vagy megváltoztatjuk a rajta átfolyó áram erősségét, akkor az *A* tekercsben áram indukálódik

## 2 Kideritjük az indukciós áram keletkezésének okait

Megállapítottuk, milyen körülmények között keletkezik egy zárt tekercsben elektromos áram. Próbáljuk meg kideríteni e jelenség okát.

A helyzet az, *hogy a változó mágneses tér mindig elektromos teret kelt*. Ez az elektromos tér van hatással a tekercsben található szabad töltött részecskékre, nem pedig a mágneses tér. Az így keletkezett elektromos tér irányított mozgásra kényszeríti a töltéseket, aminek következtében indukciós elektromos áram jön létre.

Azt a jelenséget, amikor a mágneses tér változása elektromos teret gerjeszt, **elektromágneses indukciónak** nevezzük.

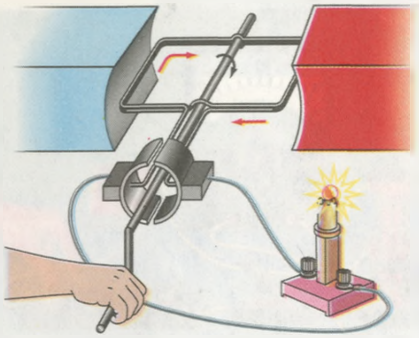
Az indukciós áram megjelenése a tekercsben az elektromágneses indukció következménye.

## 3 Megismerkedünk az ipari áramforrásokkal

Az elektromágneses indukció jelenségét a mechanikai áramforrásokban – *elektromos generátorokban* – alkalmazzák, amelyek nélkül elképzelhetetlen a modern energetika. Ezek a generátorok a mechanikai munkát elektromos energiává alakítják át.

Hogy megértsük a generátorok működését, végezzünk el egy kísérletet. Vegyünk egy néhány menetes vezetőkeretet (30. 3. ábra) és forgassuk azt egy állandó mágnes mágneses terében. A keretben elektromos áram ébred, amelyet az izzó felfényelése bizonyít.

Derítsük ki az áram létrejöttének okait. A keret forgása során megváltozik a kereten áthatoló mágneses erővonalak száma: egyszer csökken, másszor pedig növekszik. A kereten áthatoló mágneses tér tehát állandó változásban van. A keretben ezért áram indukálódik (emlékezzetek vissza az elektromágneses indukcióra).



**30. 3. ábra.** Amikor a keretet mágneses térben forgatjuk, abban áram indukálódik

A mai generátorok felépítése gyakorlatilag megegyezik a villanymotorokéval (lásd a 28. §. 4. pontját). A működési elve azonban a motor működésének a fordítottja. A generátor, ahogy a villanymotor is, sztátorból és rotorból áll. Az *állórész* egy üreges henger, amelynek belső felületén egy vastag szigetelt rézhuzal helyezkedik el, ez az *állórész tekercse*.

Az állórész belsejében forog a *rotor*. A villanymotorhoz hasonlóan a rotor egy henger, amelynek hornyaiban fekszik a *rotor tekercse*. A rotor tekercsére egy *kommutátor* segítségével egyenáramú áramforrást, úgynevezett *gerjesztő áramforrást* kapcsolnak. A rotor tekercsében folyó áram mágneses teret hoz létre a rotor környezetében.

Gőznyomás hatására (atomerőművekben és hőerőművekben), vagy bizonyos magasságról eső víz hatására (vízierőművekben) a generátor rotorja gyors forgást végez. Ennek eredményeképpen az állórészen áthatoló mágneses tér megváltozik, az elektromágneses indukció következtében annak tekercsében elektromos áram indukálódik. Egy sor átalakítás után ez az áram jut el a fogyasztókhoz.

## Összegzés

Zárt keretben a kereten áthatoló mágneses tér változásakor elektromos áram keletkezik. Az ilyen áramot indukált áramnak nevezzük.

Az indukált áram létrejöttének oka az, hogy a mágneses tér változása annak környezetében mindig elektromos teret kelt. Ez az elektromos tér hatást gyakorol a keretben található szabad töltéshordozókra, és irányított mozgásra kényszeríti azokat: indukált áram jön létre.

Azt a jelenséget, amikor a mágneses tér változása elektromos teret gerjeszt, elektromágneses indukciónak nevezzük.

Az elektromágneses indukció jelensége képezi a mechanikai áramforrások* – elektromos generátorok – működésének fizikai alapját.

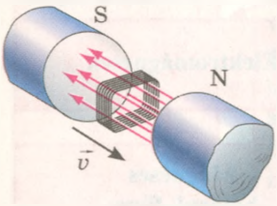
### Ellenőrző kérdések

1. Ismertessétek Faraday kísérleteit! 2. Mit tudtok az elektromágneses indukcióról? 3. Milyen áramot nevezünk indukáltnak? 4. Mi okozza az indukált áram létrejöttét? 5. Soroljatok fel olyan eszközöket, amelyek működésében az elektromágneses indukciót hasznosítják! Milyen energiaátalakulási folyamatok mennek végbe ezekben? 6. Magyarázzátok el a generátor felépítését és működését!

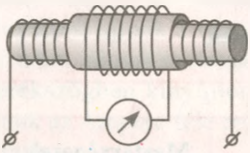
* A mechanikai áramforrások olyan eszközök, amelyben a mechanikai munka elektromos árammá alakul át.

## 27. gyakorlat

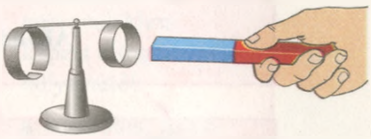
1. Mozgassatok egy kis tekercset forgásmentesen egy elektromágnes pólusai között (1. ábra). Létrejön-e a tekercsben elektromos áram? Feleleteteket indokoljátok meg!
2. Két mozdulatlan tekercset a 2. ábrán látható módon helyeztek el. Az egyik tekercshez kapcsolt galvanométer áramot jelez. Mikor történhet ez meg?
3*. Egy zárt alumínium gyűrűhöz* (3. ábra) állandó mágnessel közelítenek. Miért taszítja a gyűrű a mágnest? Hogy viselkedik a gyűrű, ha a mágnest távolítjuk? Mi történik, ha a mágnest a nyitott gyűrűhöz közelítjük?




1. ábra



2. ábra



3. ábra

### A FIZIKA ÉS TECHNIKA UKRAJNÁBAN

**Az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia Mágnességi Intézete** (Kijev)

A tudományos kutatások iránt érdeklődők számára érdekes megismerkedni az Ukrán Nemzeti Tudományos Akadémia Mágnességi Intézetével. Az intézet működése ellentmond annak az általánosan elterjedt nézetnek, miszerint a tudományt az akadémián művelik, a tanítást pedig az egyetemeken. Az intézet szoros kapcsolatot tart fenn az ország vezető tanintézeteivel: a Kijevi Műszaki Egyetemmel és a Kijevi Nemzeti Egyetemmel. Ezen tanintézetek diákjai az intézetben megismerkedhetnek a modern laboratóriumi berendezésekkel és önálló kísérleteket is végezhetnek ezekkel. Az ELEXIS E5000 spektrométer egyike ezen berendezéseknek (lásd a fényképen), amely az anyagok mágneses tulajdonságainak vizsgálatára szolgál. Az intézet szakemberei orosz, francia, német, amerikai és más országbeli tudósokkal karöltve vizsgálják a szilárd testek tulajdonságait. Az itt szerzett ismereteket kisebb, gyorsabb és kényelmesebben használható számítógépek, mobiltelefonok, CD- és DVD-lejátszók tervezésekor hasznosítják. Lássunk erre egy példát! Már tudjátok, hogy az elektromos áram a vezető bármely keresztmetszetében állandó. Ez egy általános szabály, de az intézet munkatársainak sikerült olyan körülményeket létrehozni, amikor ez nem teljesül. Bizonyos tulajdonságokkal bíró mágneses tér jelenlétében a fémekben az áram térbeli periodicitással bír, vagyis az egynemű vezető bizonyos keresztmetszeteiben az áram erősebb, más keresztmetszeteiben pedig gyengébb. Gondolkozzatok el azon, hol lehetne ezt hasznosítani!

* Ezt az eszközt *Lenz gyűrűinek* nevezik, *E. H. Lenz* orosz tudós tiszteletére, aki felfedezte az indukált áram irányának meghatározására szolgáló, majd róla elnevezett *Lenz szabályt*.

## A MÁGNESES TÉR CÍMŰ FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA

**1.** A fejezet tanulmányozása során megtudtuk, hogy az emberek először az *állandó mágnes* használatát sajátították el; sokkal később tanultak meg *elektromágnest* készíteni, amelyek azóta széles körben elterjedtek.

**MÁGNESEK**

**Állandó mágnesek**

| **Természetesek** | **Mesterségesek** |
|---|---|
| A Föld egy nagy természetes mágnes. A Föld *déli mágneses pólusa* az *északi földrajzi pólus* közelében helyezkedik el, az *északi mágneses pólusa* pedig a *déli földrajzi pólus* közelében | Mágnestűk, mágnesrudak stb. |

**Elektromágnesek**

**Mágneses hatásuk függ:**

- a tekercsben folyó áram erősségétől;
- a tekercs menetszámától;
- a vasmag alakjától és anyagától

**2.** Kiderítettük, hogy minden mozgó töltés körül, tehát az áramjárta vezető körül is *mágneses tér* ébred.

**3.** Megismerkedtünk a *mágneses tér erővonalaival*, azokkal a képzeletbeli vonalakkal, amelyek mentén mágneses térben a mágnestűk orientálódnak és megállapítottuk, hogy:

- a mágneses erővonalak *iránya* olyan, mint amerre *a mágnestűk északi pólusa mutat*;
- az áramjárta vezető mágneses erővonalainak irányát a *dugóhúzó-szabály*, vagy a *jobbkéz-szabály* segítségével határozzuk meg;
- a mágneses tér erővonalai a mágnes *északi pólusán lépnek ki* a mágnesből és a *déli pólusán lépnek be* a mágnesbe;
- a mágneses tér erővonalai *zártak*.

**4.** Megállapítottuk, hogy az áramjárta vezetőre mágneses térben meghatározott erő hat. Ez az *Ampere-féle erő*.

**AZ AMPERE-FÉLE ERŐ**

Az áramjárta vezetőre **hat** mágneses térben

**Irányát a balkéz-szabály adja meg:** ha bal kezünket úgy helyezzük el, hogy a mágneses tér erővonalai a tenyerünkbe hatoljanak és négy kinyújtott ujjunk a vezetőben folyó áram irányát mutassa, akkor a derékszögben kinyújtott hüvelykujjunk az Ampere-féle erő irányát mutatja

**Értéke függ:**
- a mágneses tértől;
- a vezetőnek az erővonalakhoz képest elfoglalt helyzetétől;
- a vezetőben folyó áram erősségétől;
- a vezető hosszától.

**AZ AMPERE-FÉLE ERŐ GYAKORLATI ALKALMAZÁSAI**

**Elektromos mérőműszerek** | **Villanymotorok** | **Hangszórók**

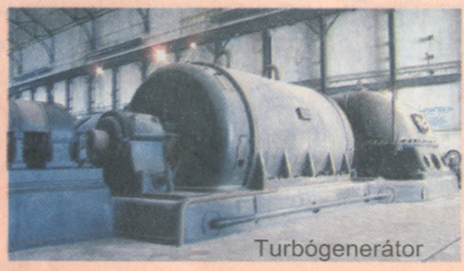
**5.** Megismételtük Faraday kísérleteit és tanulmányoztuk az *elektromágneses indukció jelenségét*.

**AZ ELEKTROMÁGNESES INDUKCIÓ JELENSÉGE**

Elektromos tér változó mágneses tér általi gerjesztésének jelensége

**FARADAY KÍSÉRLETEI**

**ELEKTROMOS ÁRAM IPARI ELŐÁLLÍTÁSA**



Turbógenerátor

## ELLENŐRZŐ FELADATOK A 3. FEJEZETHEZ

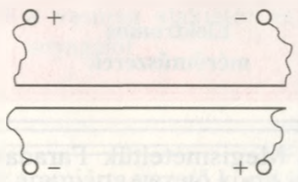
*Az 1–7. feladatok megoldásai között csak egy helyes megoldás van.*

**1.** (*1 pont*) Oersted kísérletei azt bizonyítják, hogy:
**a)** az áramjárta vezetőnek mágneses tere van;
**b)** a földnek mágneses tere van;
**c)** két áramjárta vezető kölcsönhatásban van egymással;
**d)** a változó mágneses tér elektromos teret kelt.

**2.** (*1 pont*) A mágnes felszínének azon helye, ahol a mágneses hatás a legerősebb:
**a)** a mágnes tengelye;
**b)** a mágnes pólusa;
**c)** a sztátor;
**d)** a kommutátor.

**3.** (*1 pont*) Az iránytű déli mágneses pólusa általában:
**a)** a föld északi földrajzi pólusának irányába;
**b)** a föld déli mágneses pólusának irányába;
**c)** a föld déli földrajzi pólusának irányába;
**d)** a föld egyenlítőjének irányába mutat.

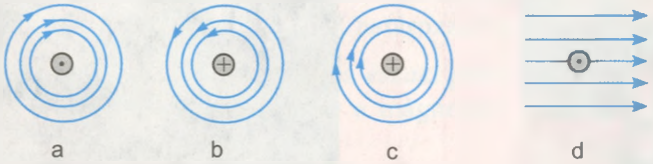
**4.** (*1 pont*) Az 1. ábrán látható vezetők:
**a)** nincsenek kölcsönhatásban;
**b)** vonzzák egymást;
**c)** taszítják egymást;
**d)** előbb vonzzák, majd taszítják egymást.



1. ábra

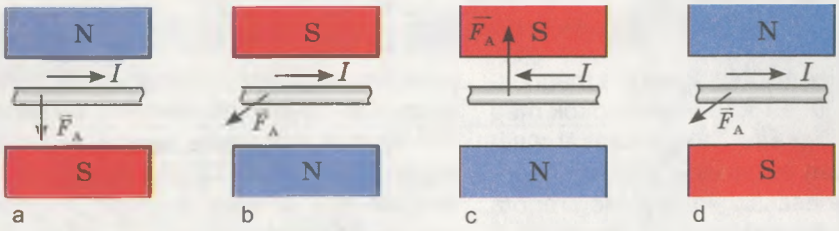
**5.** (*1 pont*) Az áramjárta tekercs mágneses tere gyengül, ha:
**a)** a tekercsbe vasmagot helyezünk;
**b)** növeljük a tekercs menetszámát;
**c)** csökkentjük az áramerősséget;
**d)** növeljük az áramerősséget.

**6.** (*2 pont*) Melyik rajz (2. ábra) mutatja helyesen az áramjárta vezető mágneses terének irányát? (A ⊙ jel az jelenti, hogy az áram felénk folyik, a ⊕ jel pedig az ellentétes irányt.)



2. ábra

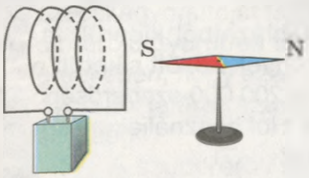
**7.** (*2 pont*) Melyik esetben van helyesen feltüntetve az Ampere-féle erő iránya (3. ábra)?



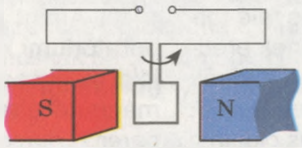

3. ábra

**8.** (*3 pont*) Őrlés előtt a gabona magvait átengedik egy erős elektromágnes pólusai között. Mi ennek a célja?

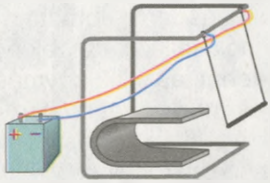
**9.** (*3 pont*) A mágnestű a tekercs mágneses terében úgy orientálódott, ahogy azt a 4. ábrán láthatjuk. Határozzátok meg az áramforrás polaritását!




4. ábra




5. ábra




6. ábra

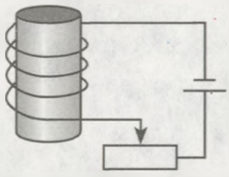
**10.** (*3 pont*) Az 5. ábrán egy mágneses térben forgó vezetőkeretet láthatunk. Határozzátok meg az áramforrás pólusainak helyzetét!

**11.** (*4 pont*) Ha egy iránytű közelébe egy állandó mágnest helyezünk el, akkor az kitér észak-déli irányból. Kitér-e a mágnestű, ha egy vasdarabot helyezünk mellé? Ha egy rézdarabot?

**12.** (*4 pont*) A 6. ábrán egy mágnespatkó pólusai között elhelyezett áramjárta vezetőt látunk. Határozzátok meg a mágnes pólusait!

**13.** (*5 pont*) Határozzátok meg az elektromágnes pólusainak helyzetét (7. ábra)! Hogyan változik meg a mágnes emelőereje, ha a reosztát csúszkáját balra mozdítjuk el?

**14.** (*5 pont*) Hogy változik meg a magnetoelektromos műszer beosztásának értéke, ha háromszor kisebb merevségű rúgót építünk bele? Feleleteteket indokoljátok!



7. ábra

*Vessétek össze megoldásaitokat a könyv végén található feleletekkel! Jelöljétek meg a sikeresen megoldottakat, és számítsátok ki a pontok összegét! A kapott összeget osszátok el hárommal! Az így kapott eredmény mutatja a jelenlegi tudásszinteteket.*

# A CSILLAGOKTÓL A LEBEGŐ BÉKÁKIG, AVAGY MIÉRT VAN SZÜKSÉG SZUPERERŐS MÁGNESEKRE

Az emberek többségének a mágnesről az iránytű jut eszébe. A mérnökök még felemlítik a mágnesek alkalmazását a villanymotorokban és generátorokban. Azonban ezeket az eszközöket már elég régóta ismerjük. Mindez azt jelenti, hogy nincs is szükség a mágneses jelenségek tanulmányozására?

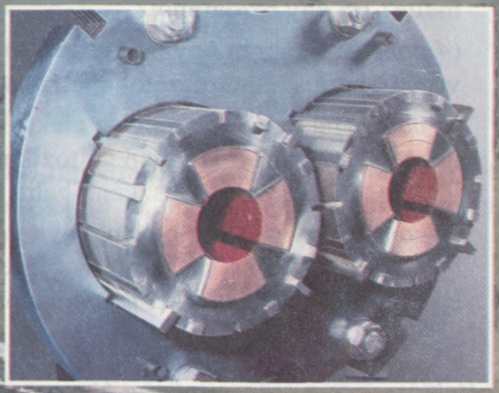
Ne siessünk a válasszal! Gondoljunk például a súrlódásmentesen közlekedő lebegtetett vonatokra. Ezeknél mágneses tér játssza a sínek szerepét. Két mágnes, amelyek közül az egyik a pályatestben, a másik magában a vonatban található, egynemű pólusaikkal vannak egymás felé fordítva, tehát taszítják egymást. Ennek eredményeként a vonat mintegy lebeg a sínek felett. Az ilyen rendszer előnyeiről a 8. osztályos tankönyv *enciklopédikus* oldalain már beszéltünk.

A következőkben tekintsük át a *nagyteljesítményű elektromágnesek* még néhány alkalmazását. De előbb tisztázzuk, mit is nevezünk szupererős mágnesnek. Ehhez össze kell hogy hasonlítsuk a különböző objektumok mágneses tereit egy táblázat segítségével. A táblázat azt mutatja, hányszor erősebb az adott objektum mágneses tere a Föld mágneses terénél. A Föld mágneses terének ereje szolgál tehát mértékegységül. Néhány esetben már ez a viszonylag gyenge tér is zavaró lehet, ezért a tudósok megtanultak árnyékolni. Erre a célra építik meg az úgynevezett *mágnesesen árnyékolt szobát.* Ezekben a mágneses tér erőssége 10 milliószor kisebb a Föld mágneses terénél.

Amint az a táblázatból kiderül, laboratóriumi körülmények között sikerült a földi mágneses térnél 200 000-szer erősebb mágnest létrehozni. Hol használják a szupererős mágneseket?

A fizikusoknak szükségük van ilyen mágnesekre ahhoz, hogy megtartsák a töltött részecskék nyalábját a gyorsítókban. Az 1. ábrán a világ egyik legnagyobb ré-

1. ábra. A világ egyik legnagyobb részecskegyorsítója



2. ábra. A töltött részecskéket a gyorsító belsejében tartó szupererős mágnesek

A mágneses terek viszonylagos erőssége

| A mágneses tér forrása vagy a mérés helye | Viszonylagos erősség |
|---|---|
| A Föld felszíne | 1 |
| Mágnesesen árnyékolt szoba | $10^{-10}$ |
| Iskolai laboratóriumi mágnes | 200 |
| Egy napfolt közepe | 3000 |
| Nagy elektromágnes | 30 000 |
| Szupererős laboratóriumi mágnes | 200 000 |
| A neutroncsillag felszíne | $10^{12}$ |

3. ábra. Az ember belső szerveinek vizsgálatára szolgáló mágneses rezonancián alapuló eszköz

szecskegyorsítóját láthatjuk. A gigantikus, több kilométer átmérőjű gyűrűben töltött részecskék mozognak. Annak érdekében, hogy ezek a részecskék ne „kenődjenek fel" a gyorsító falára, szupererős mágnesekre (2. ábra) van szükség.

A szupererős mágneseket a gyógyászatban is alkalmazzák: segítségükkel állítják elő az ember belső szerveinek képét (3., 4. ábrák). A röntgendiagnosztikával ellentétben a mágneses rezonanciás vizsgálat (MRI) lényegesen veszélytelenebb.

4. ábra. MRI-vel készített fénykép

Végül nézzük meg a szupererős mágnesek egy újabb alkalmazását. A mérnökök már elérték a nehéz vonatok lebegtetését a pálya felett. Vajon megvalósítható-e ugyanez az emberrel és az állatokkal is?

A probléma itt az anyagokban rejlik. A mágneses hatás felerősítésére a vonatokban különleges anyagokat alkalmaznak, az emberi test anyaga azonban nem bír ilyen tulajdonságokkal. Az emberi testbe mégsem építhetünk be „vasdarabokat"! A lebegés elérésében segítségünkre lehetnek a szupererős mágnesek. Kiderült ugyanis, hogy nagyon erős mágneses térben az élő szervezet gyenge mágneses tere is elégséges lehet a szükséges taszítóerő biztosításához. A tudósoknak sikerült ilyen módon lebegésre kényszeríteni egy békát (5. ábra). A kísérletező tudósok úgy találták, hogy a béka a kísérlet után jól érezte magát. Most már csak annak a módját kell megtalálni, hogyan lehet a mágneses teret 10- vagy 100-szorosára felerősíteni, hogy az ember is megismerhesse a lebegés mámorító élményét.

5. ábra. Lebegő béka

# 4. FEJEZET. AZ ATOMMAG. MAGENERGETIKA

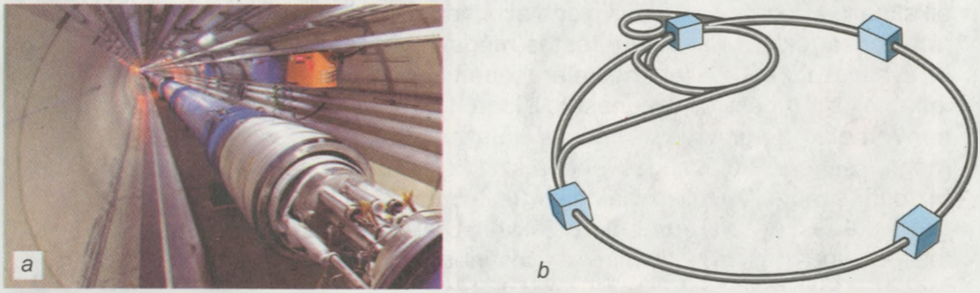
## 31. §. AZ ATOM ÉS AZ ATOMMAG

?! Bizonyára sokan hallottatok 2008 őszén a modern fizika legnagyobb teljesítményű eszközének, a nagy hadron ütköztetőnek a beindításáról (31. 1. ábra). Megépítésének költségei óriásiak voltak. Németország, Franciaország és Japán egyesült erővel volt csak képes a technika e csodáját létrehozni. A fizikai kutatásba történő nagy beruházások kora a múlt század negyvenes éveiben kezdődött, amikor a tudósok maghasadással kezdtek foglalkozni. Hogy mi célból kellett az atommagot összetevőire bontani, és hogy a különböző országok kormányai miért finanszírozzák az anyag szerkezetének kutatását, ezzel ismerkedhettek meg ebben a fejezetben.

### 1 Megismerkedünk az atommag fizikájával

A fizika tudománya több mint 2500 éves múltra tekint vissza, de csak a múlt században történt meg, hogy tekintélyes tudós fizikusokból kormányok tanácsadói lettek. A fizikusok száma több százszorosára emelkedett. Hatalmas fizikai műszereket és berendezéseket előállító gyárak épültek. A fordulópontot elsősorban a magfizika eredményei idézték elő.

A **magfizika** a fizika részterülete, amely az atommag felépítésével, tulajdonságaival, valamint az atommagokban lezajló folyamatokkal foglalkozik.




**31. 1. ábra.** A jelenlegi legnagyobb részecskegyorsító, amelyet 2008 őszén üzemeltek be: *a* a berendezés egy részlete; *b* vázlat. Méretei bámulatba ejtők, a részecskék egy 26 km hosszú gyűrűben gyorsulnak fel

Az atommag kutatásának eredménye ma egész sor úgynevezett *sugártechnológiát* hozott létre, amelyeket a gyógyászatban, a geológiában, a mezőgazdaságban és sok más területen alkalmaznak. Mindamellett a legfontosabb alkalmazási területe mégis az *energetika* marad. A fejlett országokban az atommaghasadásból származó energia eléri az országos termelés 10–20 százalékát, néhány országban, például Ukrajnában, már meghaladja az 50%-át is.

Az atomenergia hihetetlenül gyors fejlődésének oka az „atom-tüzelőanyag" magas hatásfoka. Lássunk egy példát. Egy 100 W-os izzó egynapi folyamatos működéséhez 8,6 MJ energia szükséges. Ha ezt az energiamennyiséget egy vízerőműben állítják elő, úgy arra van szükség, hogy a turbinalapátokra 120 t víz essen. Ha hőerőműben, akkor el kell tüzelni 1 kg szenet. Ha azonban egy atomerőműben, akkor 0,3 mg atommag felbontására van szükség. A különbség eléggé meggyőző.

A fizikusok véleménye szerint ha feltárjuk az atommagot alkotó részecskék valamennyi titkát, még ennél is jobbak lesznek a lehetőségeink. Ez az oka annak, hogy a kormányok aktívan támogatják az alapvető magfizikai kutatásokat.

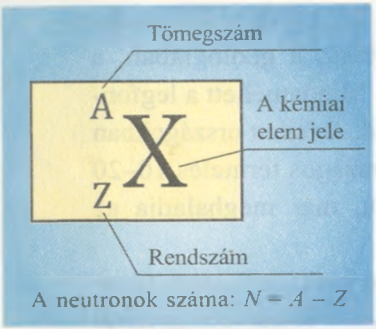
## 2 Felidézzük az atom és az atommag szerkezetét

Mielőtt közvetlenül hozzáfognánk a fejezet anyagának tanulmányozásához, idézzük fel, mit tudunk az atom szerkezetéről. Tudjuk, hogy az atomot atommag és elektronfelhő alkotja. Az atommag kétféle részecskét tartalmaz: pozitív töltésű *protonokat* és semleges *neutronokat**. A proton tömege nagyjából megegyezik a neutron tömegével és körülbelül 2000-szerese az elektron tömegének. Az atommagot alkotó protonokat és neutronokat *nukleonoknak* (magrészecskék) nevezik. A protonok és neutronok számának összege az atom *tömegszáma*, amit *A*-val jelölünk.

Az atom elektromosan semleges, vagyis az atommag protonjainak össztöltése megegyezik az elektronok össztöltésével. Mivel az elektron és a proton töltésének abszolút értéke ugyanannyi, ez azt jelenti, *hogy az atomban a protonok és az elektronok száma egyenlő.*

Az atommag protonjainak számát az atom *rendszámának* nevezzük és *Z*-vel jelöljük. A Mengyelejev-féle periódusos rendszerből könnyen meghatározható az atom rendszáma. *Az adott elem sorszáma megegyezik az atommag protonjainak számával, vagyis a rendszámmal.*

* Azt az elképzelést, hogy az atommag protonokból és neutronokból áll, D. D Ivanenko szovjet tudós mondta ki 1932-ben. Ugyanebben az évben erre a következtetésre jutott az atommag elméletét kidolgozó W. Heisenberg német tudós.




**31. 2. ábra.** Az atommagot alkotó protonok és neutronok számának meghatározása

**31. 3. ábra.** Ernest Rutherford (1871–1937) kiváló angol tudós. Lerakta a radioaktivitás és az atomszerkezet elméleti alapjait, végrehajtotta az első magreakciót, előre látta a neutron létezését. Nobel-díjas (1908), a világ valamennyi tudományos akadémiájának tagja

Ha ismerjük az atom rendszámát ($Z$) és tömegszámát ($A$), egyszerűen meghatározhatjuk a neutronok számát ($N$) az atommagon belül: $N = A - Z$.

Egy kémiai elem atommagjának jelölésekor annak vegyjele elé felső indexbe írjuk az $A$ tömegszámot, az alsóba pedig a $Z$ rendszámot (31. 2. ábra). Például $^{27}_{13}Al$ a 27 tömegszámú 13 rendszámú alumínium atommag jelölésére szolgál. Ez alapján elmondhatjuk, hogy az alumínium atommagjában 27 nukleon található: 13 proton és 27 – 13 = 14 neutron.

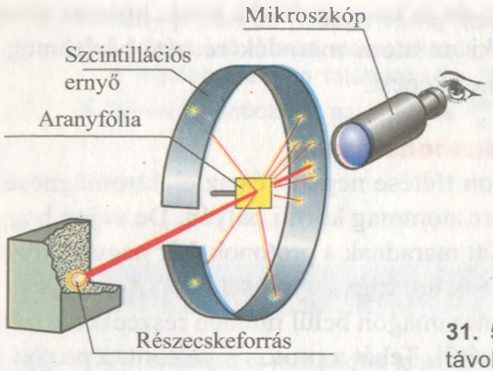
Fontos megjegyezni, hogy egy kémiai elem atommagjának nukleonszáma eltérő lehet. A kémiából már tudjátok, hogy ***izotópoknak*** *nevezzük azokat a kémiai elemeket, amelyek atommagjai azonos számú protonból, de eltérő számú neutronból épülnek fel.* Például a tórium-234 ($^{234}_{90}Th$) 234 nukleont tartalmaz: 90 protont és 144 neutront, a tórium-230-as izotóp pedig 230 nukleont: 90 protont és 140 neutront.

Bár az atom kevés híján teljes tömege a magban koncentrálódik, annak méretei hihetetlenül kicsik (az atom átmérője megközelítőleg $10^{-10}$ m, míg az atommagé $10^{-15}$ m). Képzeljétek el, hogy az atomot egy stadion méretére nagyítjuk fel. Az atommag méretei is növekszenek. Mekkorára? A számítások azt mutatják, hogy körülbelül a stadionban mászkáló hangya méretére.

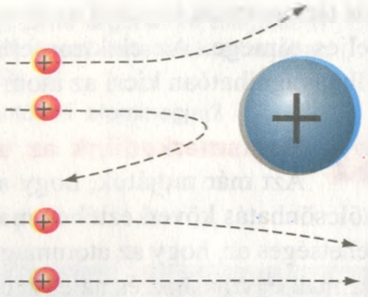
## 3 Megismerkedünk Rutherford klasszikus kísérletével

Az atom felépítésére vonatkozó ismeretekre, amelyeket fentebb megismételtünk, a kémia és a természetrajz tanulmányozása során tettetek szert. De vajon a tudósok hogy ismerték meg az atom szerkezetét, ha egyszer annak méretei ilyen kicsinyek?

Az 1908–1911-es években *Hans Geiger* (1882–1945) kísérleti fizikus és annak fiatalabb kollégája, *Ernest Marsden* (1889–1970) *Ernest Rutherford* (3. 13. ábra) angol tudós vezetése alatt egy kísérletsorozatot (szórási kísérlet) végzett el, amelynek vázlatát a 3. 14. ábrán láthatjuk. A kísérletek során a tudósok olyan anyagot használtak, amelyből nagy sebességű pozitív töltésű részecskék (úgynevezett α(*alfa*)-*részecskék*) repülnek ki. Ezt az anyagot egy kis nyílással ellátott ólomtokba helyezték el, ily módon egy keskeny sugárnyalábot állítottak elő, amelyet vékony aranyfüst lemezre irányí-




**31. 4. ábra.** Rutherford kísérletének vázlata



**31. 5. ábra.** Az atommagtól különböző távolságra elrepülő α-részecskék pályája. Minél jobban megközelíti a magot az α-részecske, annál nagyobb taszítóerő lép fel és annál nagyobb mértékben tér el mozgása során a részecske eredeti irányától

tottak. A berendezéshez tartozott még egy különleges anyaggal (cink-szulfiddal) bevont ernyő is. Amikor az α-részecskék eltalálták az ernyőt, az a találat helyén gyengén felvillant. A tudósok mikroszkóppal figyelték az ernyőt, és minden ilyen felvillanást feljegyeztek.

A kísérletek eredményeképpen kiderült, hogy az α-részecskék túlnyomó többsége csekély irányváltoztatással halad át a fólián. Azonban nagyjából minden húszezredik részecske gyakorlatilag visszapattant a fóliáról, mintha abban valami áthatolhatatlan akadály volna (31. 5. ábra). Ez hihetetlenek tűnt a tudósok számára.

Nyilvánvaló, hogy Rutherford nem láthatta az atom belső szerkezetét, kénytelen volt tehát logikájára hagyatkozni. Ha a pozitív töltés és a tömeg egyenletesen oszlik el az atom térfogatában (ez volt akkoriban a legelterjedtebb elképzelés az atom szerkezetéről), akkor minden α-részecskének irányváltoztatás nélkül kell áthaladni az aranyfólián, mivel energiájuk kolosszális. Az akkori atommodell szerint a szórási kísérlet ahhoz hasonlítható volt, mintha ágyúval lőnénk egy szénaboglyára, vagy labdát dobnánk egy pókhálón keresztül.

Ha a pozitív töltés az atomon belül egy kis térfogatrészbe koncentrálódik, amelyet „üres" tér vesz körül, akkor az α-részecskékkel történő bombázás arra hasonlít, amikor teniszlabdával messziről dobunk célba egy póznához rögzített konzervdobozra. A dobások csak egy igen kis hányada ér célba, amikor is a labda visszapattan a dobozról. A dobások többsége célt téveszt és a labda akadálytalanul repül tovább. Amint látjátok, ez a második lehetőség sokkal inkább alátámasztja a kísérlet eredményeit.

Ez a gondolatmenet a kísérletekkel megegyező eredményre vezet, amennyiben azt feltételezzük, hogy az atom tömege egy nehéz pozitív magban koncentrálódik, amelynek mérete 100 000-szer kisebb az atom méreténél.

1911-ben, a kísérletek elvégzése után Rutherford megalkotta az *atom magmodelljét*. Ennek értelmében az atom pozitív töltésű magból áll, amelyet negatívan töltött részecskék, elektronok vesznek körül. A mag csak egy igen

kis térfogatrészt foglal el az atomon belül, de itt koncentrálódik kevés híján az atom teljes tömege. Az elektronfelhő tölti ki az atom maradék részét, bár tömege elhanyagolhatóan kicsi az atom tömegéhez képest.

### 4 Megismerkedünk az erős kölcsönhatással

Azt már tudjátok, hogy az elektron töltése negatív és az elektromágneses kölcsönhatás következtében maradnak az atommag körüli pályán. De vajon hogy lehetséges az, hogy az atommagban együtt maradnak a protonok, bár nagyon közel vannak egymáshoz és az egynemű töltések taszítják egymást?

A fizikusok kiderítették, hogy az atommagon belül minden részecske között vonzóerő lép fel, függetlenül ezek töltésétől. Tehát a proton a protont, a proton a neutront és a neutron a neutront egyaránt vonzza. Ez egy olyan kölcsönhatásnak köszönhető, amelynek ereje jelentősen meghaladja az elektrosztatikus taszítás erejét. Ezért *kapta ez a kölcsönhatás az* ***erős kölcsönhatás*** *nevet.*

### ! Összegzés

A magfizika jelentősége ma abban rejlik, hogy képes az emberiséget hosszú időre nagy hatásfokú energiaforrással ellátni.

A Rutherford irányítása alatt elvégzett kísérletek eredményeképpen megalkották az atom magmodelljét, amely szerint a pozitív töltésű atommag egy igen kis térrészben koncentrálódik az atomon belül, s ezt negatív töltésű elektronok veszik körül. Az elektronfelhő gyakorlatilag az atom teljes térfogatát kitölti, bár tömege elhanyagolható az atom teljes tömegéhez képest.

Az atommag nukleonokból – protonokból és neutronokból – áll. Az atommag protonjainak száma megegyezik az atom periódusos rendszerbeli sorszámával. Izotópoknak nevezzük azokat a kémiai elemeket, amelyek atommagjai azonos számú protonból, de eltérő számú neutronból épülnek fel. A nukleonokat az erős kölcsönhatás tartja az atommagon belül, amelynek ereje jelentősen meghaladja az elektromágneses kölcsönhatás erejét.

Egy kémiai elem atommagját úgy jelöljük, hogy annak vegyjele elé felírjuk az $A$ tömegszámot és a $Z$ rendszámot.

### ? Ellenőrző kérdések

1. Miért támogatják a világ nagyon sok országában a kormányok a magfizikai alapkutatásokat? Támasszátok alá egy példával azt az állítást, miszerint a magenergia igen nagy hatásfokú! 2. Milyen részecskék alkotják az atomot? Az atommagot? 3. Hogyan határozzuk meg a protonok számát az atommagban? És a neutronokét? Hozzatok fel példákat! 4. Ismertessétek azt a kísérletet, amely az atom magmodelljének megjelenéséhez vezetett! 5. Ismertessétek az atom magmodelljét! 6. Milyen kölcsönhatás biztosítja az atommag stabilitását?

### 28. gyakorlat

1. A bóratom magja 5 protont és 6 neutront tartalmaz. Hány elektron van az atomban?
2. Egy kémiai elem magjában 31 proton található. Melyik ez az elem?

3. Hány proton és neutron van a 40-es tömegszámú argonatom magjában?
4. A következő kémiai elemek közül válasszátok ki azt, amelynek atomjában a legtöbb elektron található: Ca, Cu, Ge, Sb, P!
5. Miben különböznek az $^{238}_{92}U$ és $^{235}_{92}U$ uránizotópok atommagjai?

## 32. §. RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS

?! A XXI. században már aligha találunk olyan embert, akiről életében legalább egyszer ne készült volna röntgenfelvétel. A XIX. század végén egy emberi kézről készült felvétel járta be a világsajtót, amelyen jól láthatók a kézfej csontjai (32. 1. ábra). Akkoriban ez nagy szenzációnak számított a fizika világában. A tudósok elkezdték tanulmányozni a röntgensugarakat és keresni azok forrásait. Az egyik ilyen tudós a francia *Henri Becquerel* (32. 2. ábra) volt. Hogy milyen meglepő eredménnyel zárultak kísérletei, megtudhatjátok ebből a paragrafusból.

**31. 1. ábra.** Az emberi kézfejről készült első röntgenfelvétel

### 1 Megismerkedünk a radioaktivitás felfedezésével

A radioaktivitás tanulmányozása a röntgensugarak felfedezésével kezdődött, amiben a véletlennek is nagy szerepe volt.

A tudósok feltételezték, hogy vannak olyan anyagok, amelyek napsugárzás hatására rövid időre röntgensugarak forrásává válnak*. Az ilyen anyagok közé sorolták az urán egyes sóit. Ezek egyikével kísérletezett Becquerel, aki a fenti feltételezést szerette volna ellenőrizni.

A tudós a só egy átlátszó kristályát fekete papírba csomagolt fényképezőlemezre** helyezte, majd néhány órára kitette a napra. Előhívás után azt tapasztalta, hogy a sókristály fekete körvonalai jelentek meg a lemezen. Kiderült tehát, hogy az uránsó olyan sugárzást bocsát ki, amely áthatol a fekete papíron, és a fényképezőlemez feketedését okozza. Becquerel szerette volna megismételni kísérleteit és egy újabb kísérletet készített elő, amely kevéssel különbözött az elsőtől. Aznap azonban nem sütött a nap, azért a tudós a fényképezőlemezt és a sókristályt egy rézkereszttel

**32. 2. ábra.** Henri Antoine Becquerel (1852–1908) francia fizikus, aki 1896-ban felfedezte az urán radioaktivitását

* Az ilyen sugárzást *fluoreszcenciának* nevezzük.

** A fényképezőlemez abban különbözik a filmtől, hogy a fényérzékeny anyagot üvegre viszik fel, nem pedig műanyagra.

**32. 3. ábra.** Marie Sklodowska-Curie (1867–1934) kétszeres Nobel-díjas francia fizikus és kémikus. A díj odaítélésének történetében ilyen elismerésben összesen három tudós részesült

**32. 4. ábra.** Pierre Curie (1859–1906) Nobel-díjas francia fizikus. A Curie házaspár jelentősen hozzájárult a radioaktivitás tanulmányozásához

együtt a fiókjába tette. Néhány borús nap elteltével a tudós előhívatta a fényképlemezt, hogy lássa, mennyire gyengült a fluoreszcencia. Őszinte meglepetésére a lemezen a kereszt képe jelent meg. Kiderült, hogy az *urán saját magától is sugároz,* ahhoz, hogy sugarakat bocsásson ki magából, *nincs szüksége a napfény gerjesztő hatására.*

Később a sugárzásnak ezt a típusát ***radioaktív sugárzásnak*** nevezték el; *a jelenséget, hogy egyes anyagok radioaktív sugárzást bocsátanak ki,* ***radioaktivitásnak***; *az ilyen sugárzásra képes kémiai elemeket* ***radioaktív elemeknek*** *vagy* ***radionuklidoknak.***

## 2 Tanulmányozzuk a radioaktív elemeket

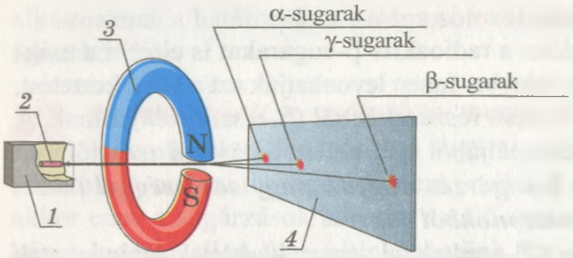
„Vajon csak az urán sugároz úgynevezett Becquerel-féle sugarakat?" – erre a kérdésre kereste a választ munkásságának kezdetén M. Sklodowska-Curie (32. 3. ábra).

Alaposan megvizsgálva az akkor ismert kémiai elemeket arra a következtetésre jutott, hogy ilyen tulajdonságai vannak a tóriumnak is. Ezenkívül M. Sklodowska-Curie és férje, *Pierre Curie* (32. 4. ábra) két új radioaktív elemet is felfedezett: a rádiumot és a polóniumot. Ezek az elemek természetes ásványokban is megtalálhatóak, ezért ezeket *természetes radioaktív elemeknek* nevezték el.

Idővel megtanulták a *mesterséges radioaktív izotópok* előállításának módját. Ma már majdnem minden kémiai elemnek (még a nem radioaktívaknak is) előállították a mesterséges radioaktív izotópját.

## 3 Összetevőire bontjuk a radioaktív sugárzást

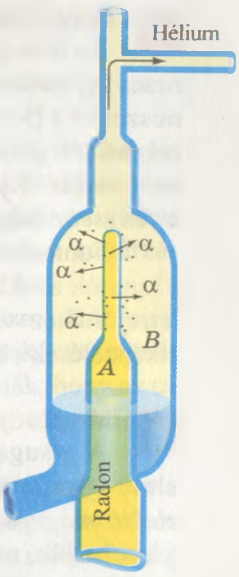
A radioaktív sugárzás természetének tanulmányozása során kiderült, hogy a sugárzás nem egynemű. A 32. 5. ábra egy ilyen kísérlet vázlatát mutatja. Egy kis nyílással ellátott ólomtokban (*1*) radioaktív anyagot (*2*) helyeztek el. A nyíláson kilépő radioaktív sugárnyaláb




**32. 5. ábra.** A radioaktív sugárzás természetének vizsgálata: *1* ólomtok; *2* radioaktív anyag; *3* állandó mágnes; *4* fényérzékeny lemez

egy erős mágnes pólusai (*3*) között halad át, majd fényképlemezre (*4*) esik.

A fényérzékeny lemezen előhívás után három sötét foltot találtak. Ez azt jelenti, hogy a mágneses tér három összetevőre bontotta a radioaktív sugárzást. Ezeket az összetevőket *α-sugaraknak*, *β-sugaraknak* és *γ-sugaraknak* nevezték el.




**32. 6. ábra.** Rutherford eszköze az α-részecskék természetének megállapítására

## 4 Kideritjük az α-sugarak természetét

Az α-sugarak természetének kiderítéséhez Rutherford (31. 3. ábra) járult hozzá a legnagyobb mértékben. A tudósnak elsők között sikerült meghatározni, hogy *az α-sugárzás pozitív töltésű részecskékből (úgynevezett α-részecskékből) áll.* Azt is megállapította, hogy *az α-részecskék töltésének abszolút értéke kétszerese az elektron töltésének.*

Az α-részecskék tanulmányozásához, Rutherford egy speciális eszközt készített (32. 6. ábra). Az eszköz legfontosabb része a radongázzal töltött üvegcső (*A*), amelyben a radon α-részecskéket sugároz. Az *A* cső jó minőségű igen vékony üvegből készült (vastagsága megegyezett az emberi hajszál vastagságával). Erre azért volt szükség, hogy az α-sugarak áthatoljanak az üvegcső anyagán, másrészt a radongáz ne szökjön el a csőből. A *B* csőben idővel felgyülemlett anyag elemzése azt mutatta, hogy ez az anyag hélium. Mivel a *B* csőbe csak α-részecskék juthattak be, továbbá annak ismeretében, hogy az α-részecskék töltése pozitív, Rutherford arra a következtetésre jutott, hogy az α-részecskék pozitív töltésű héliumionok.

Az atom magmodelljének kidolgozása után vált világossá, hogy az ***α-részecskék hélium-atommagok.***

### 5 Kiderítjük a β-sugarak természetét

Az α-sugarakhoz hasonlóan a radioaktív β-sugarakat is eltéríti a mágneses tér, csakhogy az ellentétes irányba. Innen levonhatjuk azt a következtetést, miszerint a β-sugarak negatív töltésű részecskékből (*β-részecskék*) állnak. A részecskék pontos meghatározása céljából meg kellett határozni azok töltését és tömegét. Kiderült, hogy ***a β-sugárzás nagyon nagy sebességgel*** *(közel a fénysebességgel)* ***mozgó elektronokból áll.***

Fontos megjegyezni, hogy a β-sugarakkal végzett kísérletek során jutottak a kutatók azokhoz az eredményekhez, amelyek azután a kvantummechanika létrejöttéhez vezetett, ami pedig az anyag szerkezetéről alkotott modern elképzelések elméleti alapja.

### 6 Megtudjuk, hogy a γ-sugarak és a fény természete azonos

A γ-sugarak tanulmányozása során kiderült, hogy azok a röntgen-, ultraibolya, infravörös sugarakkal együtt a fény „közeli rokonai": ezek mind *elektromágneses hullámok.* Az is kiderült, hogy ezeket a sugárzásokat úgy tekinthetjük, mint a térben fénysebességgel mozgó töltés nélküli részecskék áramát. A különböző típusú sugárzások részecskéinek energiája eltérő. A legkisebb energiával az infravörös sugarak rendelkeznek; a látható fény részecskéinek energiája valamivel nagyobb. Az ultraibolya fény részecskéinek energiája még nagyobb, ezek már képesek károsítani azt a felületet, ahová elérnek. Ez az oka annak, hogy bőrünket csak rövid ideig szabad kitenni ultraibolya sugárzásnak.

A röntgensugarak energiája lényegesen meghaladja az ultraibolya sugarakét. Következésképpen nagyobb az áthatolóképességük és romboló hatásuk is. Emiatt a néhány másodpercig tartó röntgenfelvételt nem ajánlatos egy évben egynél többször készíteni.

A γ-sugarak nemcsak az emberi testen, de a fémeken is áthaladnak. A γ-sugaraknak ezt a tulajdonságát hasznosítják például a gépkocsik sugárzással történő vizsgálatára készített műszerek (32. 7. ábra). Ilyen berendezéseket

**32. 7. ábra.** A γ-sugarak alkalmazása a konténer belsejének átvilágítására szolgáló berendezésben: *a* – a berendezés fényképe; *b* – a konténer tartalmának képe a berendezés képernyőjén

alkalmaznak a határőrök és a vámosok a kábítószerek, robbanóanyagok stb. felderítéséhez.

### 7 Védekezzünk a radioaktív sugarak ellen

Az emberek többségének a sugárzásról a veszély szó jut eszébe. Ez indokolt. A radioaktív sugárzást nem érzékelik az ember érzékszervei, ugyanakkor ezek a sugárzások károsak az élő szervezetre. A radioaktív sugárzás káros hatásai ellen úgy védekezhetünk, ha akadályt állítunk a sugárzás terjedésének útjába.

Az α- és β-sugarakkal szemben a legegyszerűbb védekezni. Bár mind az α-, mind pedig a β-részecskék igen nagy sebességgel haladnak, ezeket már egy igen vékony akadály is megállítja. A kísérletek azt bizonyítják, hogy az α-részecskék megállítására egy 0,1 mm vastag papírlap már elegendő. A β-részecskéket 1 mm-es alumíniumréteg teljesen elnyeli.

A legnagyobb áthatolóképessége a γ-sugaraknak van. Ahogy azt a 32. 7. ábrán láthatjuk, ez a sugárzás bizony elég vastag anyagon is képes áthatolni. Egyes esetekben a γ-sugarak megállításához néhány méter vastag betonfalra van szükség.

### ! Összegzés

A radioaktív sugárzást 1896-ban H. Becquerel francia fizikus fedezte fel. Igen jelentős felfedezéseket tettek még e területen E. Rutherford, Marie Curie, Pierre Curie stb.

Az urán, a tórium, a rádium és még tucatnyi kémiai elem természetes radioaktivitással bír. A tudósok mesterséges radioaktív izotópokat is megtanultak előállítani.

A radioaktív sugárzás három összetevőre bontható: α-, β- és γ-sugarakra. Az α-sugarak héliumatommagok, amelyek a radioaktív elemek atommagjainak bomlása során keletkeznek, és nagy sebességgel hagyják el azokat; a β-sugarak közel fénysebességgel haladó elektronok; a γ-sugarak elektromágneses hullámok (és ezzel egyidejűleg töltés nélküli részecskék árama), amelyek fénysebességgel terjednek.

A radioaktív sugárzás emberi szervezetre gyakorolt káros hatása ellen úgy lehet védekezni, hogy a sugárzás elé különböző anyagokból készült eltérő vastagságú akadályt állítunk.

### ? Ellenőrző kérdések

1. Hogyan fedezték fel a radioaktivitást? 2. Mivel járultak hozzá M. Sklodowska-Curie és P. Curie a radioaktivitás tanulmányozásához? 3. Soroljatok fel természetes radioaktív anyagokat! 4. Ismertessétek a kísérletet, amellyel a radioaktív sugarakat összetevőire bontották! 5. A radioaktív sugárzások milyen típusait ismeritek? 6. Milyen az α-részecskék természete? A β-részecskéké? A γ-sugárzásé? 7. Ismertessétek Rutherford kísérletét, amellyel megállapította az α-részecskék fizikai természetét! 8. Hogyan védekezhetünk a radioaktív sugarak ellen?

# 33. §. A RADIONUKLID AKTIVITÁSA. ELTOLÓDÁSI SZABÁLYOK

?! A középkor alkimistái a bölcsek kövét keresték, amelynek segítségével bármely anyagot arannyá lehetett volna alakitani. *Modern alkimia* – így nevezte el Rutherford az atommagok átalakításáról szóló könyvét. Az alábbiakban arról szólunk majd, hogy milyen átalakulásokat szenved az atommag, miközben radioaktív sugárzást bocsát ki, és hogy milyen törvények szerint zajlik ez a folyamat.

## 1 Definiáljuk a radioaktivitást. Megismerkedünk az eltolódási szabályokkal

A radioaktív sugárzások tanulmányozása során (32. §.) figyelmen kívül hagytunk egy igen fontos kérdést: mi történik az atommagokkal, miközben azok radioaktív sugárzást bocsátanak ki? Mert ha a sugárzás során az atomokból különböző részecskék távoznak, akkor eközben az atomoknak is változniuk kell. A tudósok kísérletekkel igazolták, hogy *a radioaktív sugárzás az atommagok bomlásának eredménye.*

A radioaktív elemek atommagjai *spontán* (minden különösebb ok nélkül) bomlanak. A kísérletek azt igazolták, hogy a radioaktív bomlásra se a nyomás, se a hőmérséklet, se az elektromos vagy mágneses tér, se a fényviszonyok, sem pedig a kémiai reakciók *nincsenek befolyással.* Az atommag bomlása α- és β-részecskék vagy egyéb részecskék kibocsátásával jár, miközben új radioaktív elem atomjai keletkeznek.

A **radioaktivitás** egyes kémiai elemek atommagjainak az a tulajdonsága, hogy spontánul más elem atommagjává képes átalakulni, miközben mikrorészecskéket sugároz ki.

Attól függően, hogy az átalakulást milyen részecskék kibocsátása (emissziója) kíséri, megkülönböztetünk α- és β-bomlást vagy más típusú bomlást. Megállapították, hogy a radioaktív bomlás során az *eltolódási szabályok* érvényesülnek, amelyeket *Frederick Soddy* (1877–1956) angol tudós fogalmazott meg először.

*Eltolódási szabályok*

1. *α-bomláskor* az atommag nukleonjainak száma néggyel, a protonok száma pedig kettővel csökken, ezért olyan *új atommag keletkezik, amelynek rendszáma kettővel kisebb, mint a kiindulási elem rendszáma*:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He\,.$$

Ismert például, hogy a radon ( $^{222}_{86}Rn$ ) radioaktív nemesgáz, amely héliummagokat sugároz. Ezért a radon bomlásának eredményeképpen olyan atommag keletkezik, amelynek rendszáma 84 (a radontól kettővel balra található a periódusos rendszerben). Ez a polónium:

$$^{222}_{86}Rn \rightarrow {}^{218}_{84}Po + {}^{4}_{2}He\,.$$

2. β-*bomláskor* a nukleonok száma nem változik, a protonok száma viszont eggyel nő, ezért *olyan elem atommagja keletkezik, amely eggyel jobbra helyezkedik el a periódusos rendszerben a kiindulási elemtől*:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e\,.$$

Ismert például, hogy a tórium( $^{234}_{90}Th$ ) β-radioaktív (elektronokat sugároz). Ezért a tórium β-bomlása során 91-es rendszámú protaktínium keletkezik, amely a periódusos rendszerben a tóriumtól eggyel jobbra helyezkedik el:

$$^{234}_{90}Th \rightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e\,.$$

Mivel pedig a radioaktív átalakulások során *új kémiai elemek keletkeznek*, a tudósok ezt a folyamatot (a kémiaihoz hasonlóan) *magreakcióknak* nevezték el.

## 2 Megismerkedünk a felezési idővel

Képzeljetek el bizonyos mennyiségű radioaktiv anyagot. Ez lehet egy darab uránsó, vagy üveglombikba zárt radongáz. Meg lehet-e állapítani, hogy pontosan melyik atommag bomlik el elsőnek? Melyik lesz a következő? Melyik atommag lesz „hosszú életű" és bomlik el utolsónak? A fizikusok szerint ez nem határozható meg: az atommag bomlása véletlen esemény. Ezzel együtt a radioaktiv anyag mennyisége szigorú törvények szerint változik.

Ezt a törvényszerűséget a következő példával szemléltethetjük. Ha egy edénybe bizonyos mennyiségű radont zárunk, akkor nagyjából 57 másodperc múlva az edényben csak az eredeti mennyiség felét találjuk. Még 57 másodperc után a radon mennyisége újból megfeleződik és így tovább. Ezért az 57 másodperces időintervallumot a radon *felezési idejének* nevezik.

A **felezési idő** megegyezik azzal az időtartammal, amely alatt a radioaktív atommagok mennyisége a felére csökken.

A felezési időt általában *T*-vel jelölik. *Mértékegysége az SI rendszerben a* **másodperc** (s).

Minden radioaktív izotópnak saját felezési ideje van. Az urán-238 izotóp felezési ideje 4,5 milliárd év, a rádium-226 izotópé pedig 1600 év.

A **radioaktív bomlás** egy másik jellemzője a **bomlási állandó**, amit λ-val jelölnek (lásd a táblázatban). A bomlási állandó és a felezési idő között a következő összefüggés áll fenn: $\lambda = \frac{0{,}69}{T}$. A *bomlási állandó mértékegysége az SI-ben* $\frac{1}{s}$.

*Néhány radionuklid bomlási állandója*

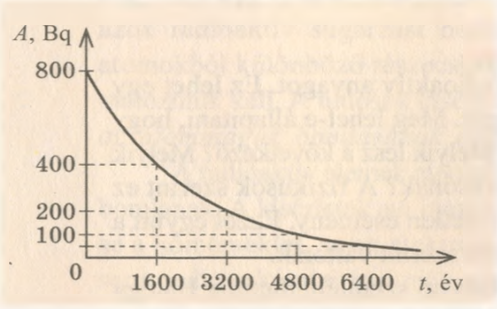
| Radionuklid | Bomlási állandó $\lambda$, $\frac{1}{s}$ |
|---|---|
| Jód-131 | $9{,}98 \cdot 10^{-7}$ |
| Kobalt-60 | $4{,}15 \cdot 10^{-9}$ |
| Plutónium-239 | $9{,}01 \cdot 10^{-13}$ |
| Rádium-226 | $1{,}37 \cdot 10^{-11}$ |
| Radon-220 | $1{,}2 \cdot 10^{-2}$ |
| Urán-235 | $3{,}14 \cdot 10^{-17}$ |
| Cézium-137 | $7{,}28 \cdot 10^{-10}$ |

## 3 Definiáljuk a radioaktív forrás aktivitását

Gyakorlati szempontból a radioaktív bomlás folyamatának fontos jellemzője az a sebesség, amellyel az egyik vagy másik radionuklid elbomlik.

Az adott **radioaktív forrás aktivitásán** az időegység alatt bekövetkezett bomlások számát értjük.

A radioaktív forrás aktivitása olyan fizikai mennyiség, amit $A$-val jelölünk. *Mértékegysége az SI-ben* a **becquerel** (Bq). 1 Bq *annak a forrásnak az aktivitása, amelyben másodpercenként egy bomlási esemény történik.* Az 1 Bq igen kis aktivitás, ezért használják még az SI *mértékegységen kívüli* másik egységet, a **curie**-t (Ci): $1\ \text{Ci} = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ \text{Bq}$.




**33. 1. ábra.** A radium aktivitás időfüggése. A rádium felezési ideje 1600 év

Ha az adott pillanatban a forrásban $N$ darab radioaktív atommag van, akkor annak $A$ aktivitását az

$$A = \lambda N$$

képlet segítségével számíthatjuk ki, ahol $\lambda$ bomlási állandó. Ezt az összefüggést a felezési időn keresztül is felírhatjuk:

$$A = \frac{0{,}69}{T} N .$$

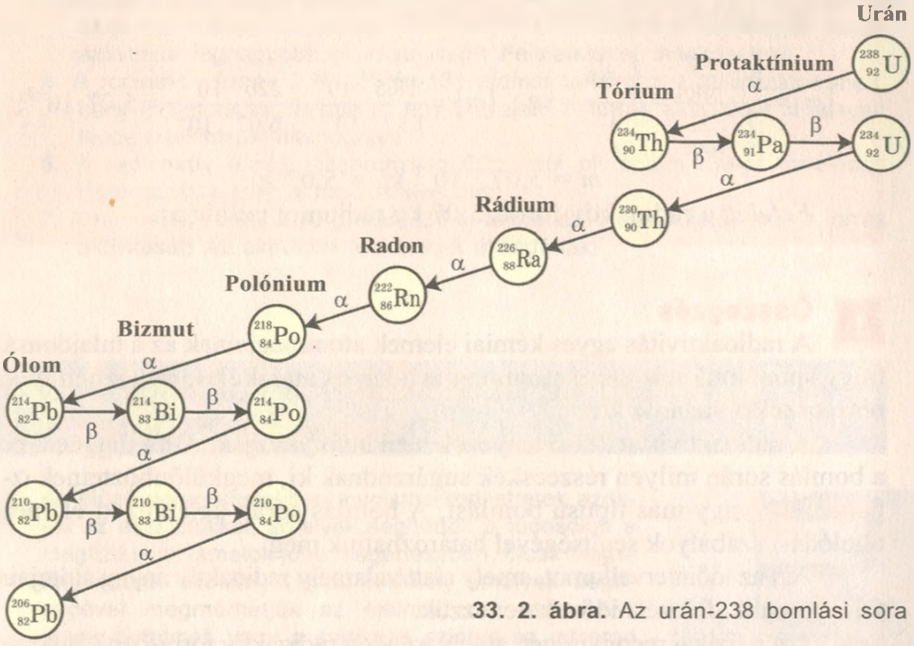
Mivel a forráson belül a még el nem bomlott atomok száma idővel csökken, ezért az adott anyag aktivitása is csökken (33. 1. ábra).

## 4 Megismerkedünk a bomlási sorokkal

A középkori alkimisták arról álmodoztak, hogy bármely anyagból aranyat állítsanak elő. Lehet, hogy Rutherford és Soddy munkájának eredményeképpen ez az álmuk valóra válhat? Nem, ez nem válhat valóra. A fizikusok kiderítették, hogy a kiinduló elem (*anyaelem*) atommagja egy sor átalakuláson megy keresztül az idő múlásával. Az $A_1$ elem atommagja $A_2$-vé alakul, majd az $A_2$-ből $A_3$ lesz és így tovább, azonban ebben az átalakulási láncban nem fordulnak elő véletlen vendégként valamely $B$ elemek. Az izotópok azon sorozatát, amely egy anyamagból kiindulva egymást követő radioaktív átalakulások során keletkeznek, *radioaktív bomlási sornak* nevezzük.

Egy ilyen, az urán-238 izotópból kiinduló bomlási sort láthatunk a 33. 2. ábrán. Később kiderült, *hogy összesen* ***négy bomlási sor*** *létezik, és hogy a természetben előforduló radioaktív izotópok ezek közül egybe és csak egybe tartozhatnak.*

A természetes bomlási sorok érthető módon nem tartalmazzák a mesterséges izotópokat.




**33. 2. ábra.** Az urán-238 bomlási sora

## 5 Tanuljuk a feladatok megoldását

**Feladat.** Határozzátok meg az 5 Ci aktivitású rádium-226 sugárforrásban a radioaktív anyag tömegét!

Adva van:

$A = 5$ Ci $=$

$= 18{,}5 \cdot 10^{10}$ Bq

$\lambda = 1{,}37 \cdot 10^{-11} \frac{1}{s}$

$M = 226 \frac{g}{mol} =$

$= 226 \cdot 10^{-3} \frac{kg}{mol}$

$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{mol}$

$m - ?$

*A fizikai probléma elemzése és matematikai modell felállítása*

A feladat megoldásához az $A = \lambda N$ összefüggést használhatjuk. A $\lambda$ bomlási állandót kikeressük a táblázatból. Az aktivitás ismeretében meghatározhatjuk a forrás atommagjainak $N$ számát.

A kémiából ismerjük az $N = \nu N_A$ összefüggést, ahol $\nu$ az anyagmennyiség, $N_A$ pedig az Avogadro-féle szám. Az anyagmennyiséget a $\nu = \frac{m}{M}$ összefüggésből számíthatjuk ki, ahol $M$ a rádium móltömege, $m$ pedig a keresett tömeg.

*Megoldás*

A forrás aktivitása: $A = \lambda N$.

Mivel $N = \nu N_A$ és $\nu = \frac{m}{M}$, ezért $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$.

Behelyettesítve az $N$ értékét az aktivitás képletébe: $A = \frac{\lambda m N_A}{M}$, innen $m = \frac{AM}{\lambda N_A}$.

Kiszámítjuk a keresett mennyiséget:

$$[m] = \frac{\text{Bq} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{\frac{1}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{mol}}} = \frac{\frac{1}{\text{s}} \cdot \text{kg}}{\frac{1}{\text{s}}} = \text{kg}\,; \quad \{m\} = \frac{18{,}5 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1{,}37 \cdot 10^{-11} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{23}} = 5{,}07 \cdot 10^{-3};$$

$$m = 5{,}07 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} = 5{,}07\ \text{g}.$$

*Felelet*: a radioaktiv forrás 5,07 kg rádiumot tartalmaz.

## Összegzés

A radioaktivitás egyes kémiai elemek atommagjainak az a tulajdonsága, hogy spontánul más elem atommagjává képes átalakulni, miközben mikrorészecskéket sugároz ki.

A radioaktivitást külső tényezők nem befolyásolják. Attól függően, hogy a bomlás során milyen részecskék sugárzódnak ki, megkülönböztetnek α- és β-bomlást vagy más típusú bomlást. A bomlás során keletkezett elemet az eltolódási szabályok segítségével határozhatjuk meg.

Azt az időintervallumot, amely alatt valamely radioaktív anyag atomjainak fele elbomlik, felezési időnek nevezzük.

Azt a fizikai mennyiséget, amely az adott radioaktiv forrásban végbemenő bomlások számával egyenlő, az adott forrás aktivitásának nevezzük. A radioaktív anyag $A$ aktivitását az $A = \lambda N$ képlettel számíthatjuk ki, ahol $N$ a radioaktív atomok pillanatnyi száma, $\lambda$ pedig az adott izotóp bomlási állandója. Az aktivitás mértékegysége az SI rendszerben a becquerel (Bq).

Azoknak az izotópoknak az összességét, amelyek egy anyamagból kiinduló egymás után bekövetkező radioaktív bomlások során keletkeznek, radioaktív bomlási sornak nevezzük. A természetes radioaktiv izotópok mindegyike a négy bomlási sor valamelyikéhez tartozik.

## Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk radioaktivitásnak? 2. Mi történik az atommaggal, miközben az egy α-részecskét sugároz ki? Ha β-részecskét? 3. Mi a felezési idő? 4. Milyen összefüggés van a felezési idő és a bomlási állandó között? 5. Mit értünk a radioaktiv forrás aktivitásán? 6. Milyen mértékegységei vannak az aktivitásnak, és milyen kapcsolat áll fenn ezek között? 7. Milyen összefüggés áll fenn az aktivitás és a bomlási állandó között? 8. Megváltozik-e a forrás aktivitása az idő múlásával? Ha igen, akkor hogyan?

## 29. gyakorlat

1. A rádium ($^{226}_{88}$Ra) bomlásakor α-részecske sugárzódik ki. Milyen másik elemmé alakul át eközben a rádium? Írjátok fel a magreakció egyenletét!
2. A protaktínium ($^{234}_{91}$Pa) bomlásakor β-részecske sugárzódik ki. Milyen másik elemmé alakul át eközben a protaktínium? Írjátok le a magreakció egyenletét!
3. A 33. 2. ábra segítségével írjatok fel néhány magreakciót, amely az urán-238 bomlása során végbemegy!

4. Egyenlő mennyiségű uránunk, rádiumunk és radonunk van. Az urán felezési ideje 4,5 milliárd év, a rádiumé 1600 év, a radoné 57 s. Melyik forrás aktivitása legnagyobb pillanatnyilag? Feleleteteket indokoljátok!
5. A radioaktív forrás $2 \cdot 10^{20}$ jód-131 atomot tartalmaz. Határozzátok meg, hány jód atommag bomlik el egy óra alatt! A forrás aktivitását a vizsgált időben tekintsük állandónak!
6. A radioaktív forrás pillanatnyilag 0,05 mol plutónium-239-et tartalmaz. Határozzátok meg a forrás aktivitását!
7. A radioaktiv forrás 0,20 g urán-235-öt tartalmaz. Határozzátok meg a forrás aktivitását! Az aktivitást tekintsétek állandónak!

# 34. §. AZ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁS ELNYELT DÓZISA ÉS DÓZISEGYENÉRTÉKE

?! Az előző paragrafusokban megismerkedhettetek azokkal az eszközökkel, amelyek segítették a tudósokat a magfizikai folyamatok jobb megértésében. Most megismerkedünk azokkal a műszerekkel, amelyek segítségével megmérhetjük az élelmiszerek radioaktívanyag-tartalmát, vagy a sugárzás szintjét az udvaron vagy az osztályteremben.

**34. 1. ábra.** Luis Harold Gray (1905–1965) angol fizikus, a sugárzás élettani hatásainak kutatója, róla nevezték el az elnyelt dózis mértékegységét

## 1 Definiáljuk az ionizáló sugárzás elnyelt dózisát

A radioaktív α-, β- és γ-sugárzás jelentős hatást gyakorol az élő szervezetre. Amikor a radioaktív sugárzás behatol az anyagba, akkor átadja annak energiáját. Az energia elnyelésének következtében az anyag egyes atomjai vagy molekulái ionizálódhatnak, ennek következtében megváltozik utóbbiak kémiai aktivitása. Egy szervezet működését a sejtjeiben lezajló kémiai folyamatok biztosítják, ezért a radioaktív sugárzás gyakorlatilag minden belső szerv működését károsíthatja.

Minél nagyobb az anyag által elnyelt energia mennyisége, annál nagyobb a sugárzásnak az anyagra gyakorolt hatása.

Az ***ionizáló sugárzás elnyelt dózisa*** *olyan fizikai mennyiség, amely az egységnyi tömegű anyag által elnyelt energiát mutatja meg.*

Az elnyelt dózist $D$ betűvel jelöljük, és a következő képlet segítségével számítjuk ki:

$$D = \frac{W}{m},$$

ahol $W$ az ionizáló sugárzás által az $m$ tömegű anyagnak leadott energiamennyiség.

*Az elnyelt dózis mértékegysége az SI rendszerben a* **gray** (*ejtsd*: gréj) ($1\ \text{Gy} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}$). A mértékegység *L. Gray* angol fizikusról kapta a nevét (34. 1. ábra).

1 Gy *az a sugárdózis, amelyet 1 kg tömegű anyag elnyel, ha vele állandó intenzitású sugárzás útján* 1 J *energiát közlünk.*

A gyakorlatban használják még a **rad** SI-n kívüli egységet (a *rad* elnevezés az angol *radiation absorbed dose* elnyelt sugárzásmennyiség szókapcsolatból származik). A két mértékegység között az 1 Gy = 100 rad összefüggés áll fenn.

## 2 Megadjuk a dózisegyenérték (ekvivalens sugárdózis) meghatározását

Az élő anyag által elnyelt sugárzási energia biológiai hatása függ az elnyelt sugárzás fajtájától is. Ugyanolyan energiamennyiség mellett az α-sugárzás sokkal nagyobb veszélyt jelent, mint a β- vagy γ-sugárzás. Erre való tekintettel bevezettek egy speciális fizikai mennyiséget, amely az elnyelt sugárdózis biológiai hatását jellemzi, a *dózisegyenértéket* (*régebbi elnevezése: ekvivalens dózis*), amelynek jele *H vagy* $D_{\text{equ}}$.

A ***dózisegyenérték*** *egyenlő az elnyelt sugárdózis D és a biológiai hatásosság K szorzatával*:

$$H = K \cdot D.$$

A biológiai hatásosság minden sugárzásfajtánál más és más (lásd a táblázatban). *A dózisegyenérték mértékegysége az SI-ben* a **sievert** (Sv). A mértékegységet *R. M. Sievert* svéd tudós (34. 2. ábra) tiszteletére nevezték el. Használatos még a **ber** *SI-n kívüli* mértékegység:

$$1\ \text{ber} = 0{,}01\ \text{Sv}.$$

**34. 2. ábra**. Rolf Maximilian Sievert (1896 –1966) svéd orvos-fizikus. A nukleáris medicina területén tevékenykedett, a sugárzások biológiai hatását vizsgálta

## 3 Megismerkedünk a besugárzási dózis fogalmával

Az ionizáló sugárzások anyagra gyakorolt hatása mindenekelőtt az anyag atomjainak és molekuláinak az ionizációjával kapcsolatos. Ezért az elnyelt sugárzás energiáját jellemző elnyelt dózison kívül van egy fizikai mennyiség, amely a sugárzás ionizáló-képességét jellemzi. Ez a *besugárzási dózis*.

*Az* ***ionizáló sugárzás besugárzási dózisa*** ($D_{\text{exp}}$) *egyenlő azzal a pozitív vagy negatív iontöltéssel, amelyet a sugárzás kelt* 1 kg *száraz levegőben*:

$$D_{\text{exp}} = \frac{q}{m},$$

ahol $q$ az ionok töltése, amelyet a sugárzás $m$ tömegű száraz levegőben keltett.

*Az SI-ben besugárzási dózis mértékegysége* ***coulomb per kilogramm*** $\left(\frac{\text{C}}{\text{kg}}\right)$.

$1\ \frac{\text{C}}{\text{kg}}$ *olyan sugárzásmennyiség, amikor ionizáló sugárzás hatására* 1 kg *száraz levegőben* 1 C*-nyi iontöltés keletkezik.*

A gyakorlatban elterjedt egy SI-n kívüli mértékegység a **röntgen** (R), amelyet *W. Röntgen* tiszteletére neveztek el (34. 3. ábra). $1\ \text{R} = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ \frac{\text{C}}{\text{kg}}$.

*Egyes ionizáló sugárzások biológiai hatásossága*

| Sugárzás típusa | Biológiai hatásosság ($K$) |
|---|---|
| α-sugárzás | 20 |
| β-sugárzás | 1 |
| γ-sugárzás | 1 |
| Neutronok | 5–10 |
| Protonok | 5 |

## 4 Tanulmányozzuk az ionizáló sugárzás teljesítményét

Nyilvánvaló, hogy *az ionizáló sugárzás dózisa függ az időtől*: minél nagyobb a besugárzás ideje, annál nagyobb lesz a sugárdózis. Ahogy a fizikusok mondják, *a dózis idővel felgyülemlik.*

*Az ionizáló sugárzás dózisának* ($D$) *és a besugárzás idejének* ($t$) *hányadosát a sugárdózis teljesítményének* ($P_D$) *nevezzük*:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

Az elnyelt sugárdózis teljesítményének mértékegységei: **gray per másodperc** $\left(\frac{\text{Gy}}{\text{s}}\right)$; a besugárzási dózisteljesítményéé **röntgen per másodperc** $\left(\frac{\text{R}}{\text{s}}\right)$; a **dózisegyenérték** teljesítménye pedig a **sievert per másodperc** $\left(\frac{\text{Sv}}{\text{s}}\right)$.

## 5 Megismerkedünk a szervezet sugárzás általi károsodásával

A kísérletek azt mutatják, hogy az élő szervezetek sugárzás általi károsítása egy *sor sajátossággal* bír.

Először is, a szervezet működését már csekély mennyiségű sugárzás is jelentősen befolyásolja. Ez azzal magyarázható, hogy a sugárzás egy igen érzékeny célt – az élő sejtet – roncsolja. A sugárzásra a gyorsan osztódó sejtek a legérzékenyebbek. A radioaktív sugárzásra ezért a vérképző szerv, a csontvelő a legsérülékenyebb.

**34. 3. ábra.** Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) német kísérleti fizikus. A később róla elnevezett sugárzás felfedezéséért a fizikusok közül elsőként részesült Nobel-díjban

Másrészt a különböző szervezetek sugárérzékenysége eltérő. A legkevésbé érzékenyek az egysejtűek.

Harmadsorban ugyanazon elnyelt sugárdózis hatás függ a szervezet korától.

A fentebb felsorolt tulajdonságok a *külső sugárzásra* vonatkoznak. A magasabb rendű állatokra és az emberre azonban sokkal veszélyesebb a *belső besugárzás*, mivel a radionuklidok – például az étkezéssel, belélegzéssel – bekerülhetnek a szervezetbe. A belső besugárzás nagyobb veszélyessége az alábbi okokkal magyarázható.

Először is egyes radioaktív atommagok képesek felgyülemleni a belső szervekben. A jód 30%-a például a pajzsmirigyben gyűlik fel, amelynek tömege az emberi test tömegének csak 0,03%-a. A radioaktív jód ilyen módon igen kis térfogatú testszövetnek adja le energiáját.

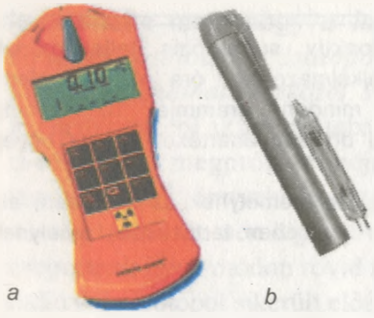
Másrészt a belső besugárzás hosszú ideig tart. A szervezetbe bekerült radionuklid nem ürül ki azonnal, előbb egy sor átalakuláson megy át a szervezeten belül. Az átalakulásokat kísérő radioaktív sugárzás ionizálja a szervezet molekuláit, s ezáltal biokémiai aktivitásukat csökkentve, károsítja a szervezetet.

## 6 Megismerkedünk a dozimeterek (dózismérők) felépítésével és működésével

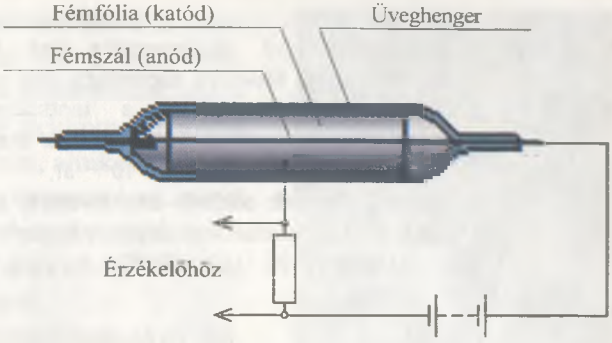
Az ionizáló sugárzás dózisának és teljesítményének mérésére *dozimétereket* használnak. A dozimeter legfontosabb alkatrésze a *detektor*, az ionizáló sugárzás regisztrálására szolgáló eszköz. A detektor típusa szerint a dozimeterek lehetnek ionizációsak, szcintillációsak vagy egyéb típusúak (34. 4. ábra). Az ionizációs dozimeterek detektora egy *Geiger–Müller-számláló*, amelynek működése azon alapszik, hogy a gázok vezetőképessége radioaktív sugárzás hatására ugrásszerűen megnő.

A Geiger–Müller-számláló egy kisnyomású nemesgázzal megtöltött üveghenger (34. 5. ábra). Az üveghenger falát vékony fémréteg borítja, ami katódként szolgál. A henger tengelyében egy fémszál van kifeszítve. Ez az anód. A fémszál és a henger fala között erős elektromos teret létesítenek.

Amikor a radioaktív sugárzás behatol a hengerbe, ionizálja a nemesgáz atomjait. Az ionizáció során keletkező elektronokat és ionokat felgyorsítja az elektromos tér, ezután ezek a gáz semleges atomjaival ütközve újabb elektronokat és ionokat keltenek. A folyamat eredményeként az ionok és az elektronok száma lavinaszerűen növekszik a henger térfogatában. A elektromos tér hatására az elektronok a fémszál felé mozognak, az áramkörben egy áramlökés halad át, amely egy erősítőn keresztül valamilyen *jelző-* vagy *mérőberendezésre* kerül. Amennyiben a jelzőberendezés egy hangszóró, akkor a műszer jellegzetes kattogó hangot hallat. Minél aktívabb a sugárforrás, annál nagyobb gyakorisággal kattog a műszer.




**34. 4. ábra.** Dozimèterek: *a* ionizációs; *b* szcintillációs




**34. 5. ábra.** A Geiger–Müller-számláló kapcsolási rajza

Mérőberendezésként manapság inkább digitális mérőműszereket alkalmaznak. Ez esetben a sugárdózis értékét a műszer képernyőjéről olvashatjuk le.

## Összegzés

Azt a fizikai mennyiséget, amely számbelileg egyenlő az anyagban elnyelt ionizáló sugárzás $W$ energiájának és az anyag $m$ tömegének hányadosával, elnyelt dózisnak nevezzük és $D$-vel jelöljük. A gray-ben kifejezett elnyelt dózist $D = \frac{W}{m}$ képlettel számíthatjuk ki.

A sugárzás biológia hatása nem csak az elnyelt energia mennyiségétől, hanem a sugárzás természetétől is függ. Ennek a hatásnak a mérésére vezették be a dózisegyenértéket ($H$), amelyet $H = K \cdot D$ képlettel számítunk ki, ahol $K$ a biológiai hatásosság, $D$ pedig az elnyelt dózis. A dózisegyenérték mértékegysége a sievert.

Minél hosszabb a besugárzás ideje, annál nagyobb az elnyelt sugárdózis. Az elnyelt dózis és a besugárzási idő aránya a sugárdózis $P_D$ teljesítménye:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

A dozimèterek az ionizáló sugárzás dózisának és teljesítményének mérésére szolgáló műszerek.

## Ellenőrző kérdések

1. Miben nyilvánul meg a radioaktív sugárzás biológiai hatása? 2. Fogalmazzátok meg az elnyelt dózis meghatározását! Mi az elnyelt dózis mértékegysége? 3. Hogyan számítják ki a dózisegyenértéket? Miben mérik? 4. Hogyan határozzák meg a besugárzási dózist? Miben mérik? 5. Mit értünk az ionizáló sugárzás teljesítményén? 6. Miért fokozottan veszélyesek a szervezetbe bekerült radionuklidok? 7. Magyarázzátok el az ionizációs dózismérő felépítését és működését!

### 30. gyakorlat

1. A laboratóriumi alkalmazottra eső radioaktív sugárdózis teljesítménye $2 \cdot 10^{-9}$ Gy/s. Mekkora sugárdózis érte az alkalmazottat 1 óra leforgása alatt?
2. Belső sugárzás során a testszövet minden grammja $10^8$ számú α-részecskét nyelt el. Határozzátok meg a dózisegyenértéket, ha az egyes részecskék energiája $8{,}3 \cdot 10^{-13}$ J!
3. Mekkora elnyelt dózisról beszélhetünk annak a személynek az esetében, aki egy órán keresztül egy olyan γ-sugárforrás közelében tartózkodik, amelynek teljesítménye $25 \cdot 10^{-9}$ Gy/s?

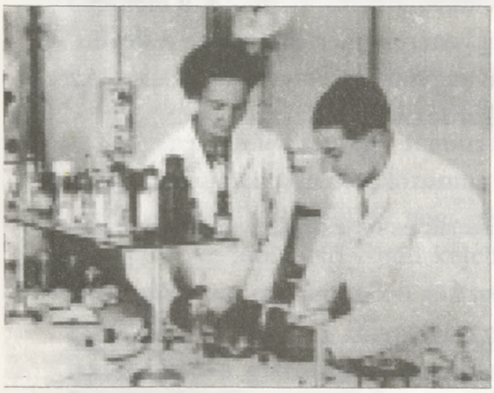
## 35*. §. RADIOAKTÍV IZOTÓPOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS ALKALMAZÁSA

?! Úgy húsz évvel ezelőtt Ukrajna lakosai évente csak néhány hétig élvezhették a szamóca ízét. Ha pedig a szamócát néhány óráig a napon hagyták, az bizony minden vonzó tulajdonságát elvesztette. Ma már a hipermarketek polcain ősszel, télen vagy akár tavasszal is találhatunk szamócát. Gondoljunk most az egyszer használatos fecskendők csomagolásán jól látható „Steril" feliratra. Ebben a paragrafusban kiderítjük, mi köze lehet e két dolognak egymáshoz.

### 1 Megismerkedünk a mesterséges radioaktív izotópok felfedezésével

Az első mesterséges radioaktív izotópot *Frederic* és *Irene Joliot-Curie* (35. 1. ábra) állította elő 1934-ben. Amikor egy alumíniumlemezt α-sugárzás hatásának tettek ki, neutron-sugárzást tapasztaltak, mert a következő magreakció ment végbe:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\mathrm{P} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}\,.$$



**35. 1. ábra.** Irene Joliot-Curie (1897–1956) és Frederic Joliot-Curie (1900–1958) francia fizikusok és sugárkémikusok. Új radioaktív elemek előállításáért kémiai Nobel-díjjal tüntették ki őket 1935-ben

Az így előállított foszforizotóp egyrészt radioaktívnak bizonyult, másrészt ilyen izotóp a természetben nem létezik. A Joliot-Curie házaspár ilyen módon előállította az első *mesterséges radioaktív kémiai elemet.*

*E. Fermi* olasz fizikus (35. 2. ábra) néhány nagy felfedezéssel tette ismertté nevét. A legnagyobb elismerést, a Nobel-díjat, a lassú neutronokkal gerjesztett mesterséges radioaktivitás felfedezéséért kapta.

Fermi 1934 nyarán kezdte el vizsgálni a mesterséges radioaktivitásnak azt a típusát, amely az atommagok által befogott lassú neutronok hatására következik be. Ő első-

ként értette meg, hogy *a lassú neutronok a mesterséges radioaktív izotópok előállításának legjobban használható eszközei.* Ha belegondolunk, tényleg nem célszerű az atommagba egy elektromosan töltött α-részecskét megpróbálni bejuttatni, amiket az úgyis taszít. Sokkal könnyebb bejuttatni egy neutront, mivel ez elektromosan semleges. A Fermi vezette kutatócsoportnak ilyen módon rövid idő alatt közel félszáz új radioaktív izotópot sikerült előállítani.

A neutronsugárzás a mesterséges radioaktív izotópok ipari előállításnak leggyakrabban alkalmazott módja.

**35. 2. ábra. Enrico Fermi** (1901–1954) Nobel-díjas (1938) olasz fizikus. A magfizika egyik nagy öregje. Vezetésével építették fel az első magreaktort (1942), amelyben először valósítottak meg láncreakciót

## 2 Megismerkedünk a radioaktív izotópok alkalmazásaival

A radioaktív izotópokat gyakran alkalmazzák orvosi vizsgálatok során *indikátorként.* Az ember belső szervei képesek felhalmozni szöveteikben egyes vegyi elemeket. A pajzsmirigyben halmozódik fel a jód, a csontokban a foszfor, a kalcium és a stroncium, a májban egyes festékanyagok. Ha a belső szerv optimálisan működik, az anyagok felhalmozódása meghatározott ütemben történik; ha a szerv működésével problémák vannak, akkor a felhalmozódás üteme is eltér az optimálistól. A basedow-kórban szenvedő embereknél pajzsmirigy túlműködés áll be, ezért a jód nagyon gyorsan felhalmozódik benne. Vannak olyan betegségek is, amelyek során a pajzsmirigy működése visszafogott, ezért benne a jód felhalmozódásának üteme lassú.

A jód felhalmozódásának ütemét γ-radioaktív jódizotóp segítségével lehet meghatározni. Mivel a radioaktív és a *nem radioaktív* jód kémiai tulajdonságai ugyanolyanok, a radioaktív jód-131 izotóp felhalmozódásának sebessége megegyezik a nem radioaktív jód felhalmozódásának sebességével. Ha a pajzsmirigy működése rendben van, a szervezetbe radioaktív jódot juttatva bizonyos idő elteltével a γ-sugárzás erőssége az optimális körüli értéket mutat. A radioaktív atomok mintegy jelzést küldenek: „Megérkeztünk, minden rendben." Ha azonban a pajzsmirigy működése abnormális, a γ-sugárzás erőssége vagy rendellenesen alacsony vagy rendellenesen magas lesz. A radioaktív magok „riadót fújnak": „Megérkeztünk, de kevesen (sokan) vagyunk." Hasonló módszereket alkalmaznak az anyagcsere, vagy egyéb belső szervek, például a vese, a máj működésének vizsgálatára.

Radioaktív (jód-131, foszfor-32, arany-198) izotópokat használnak a rosszindulatú daganatok kimutatására is. A diagnózis alapja az, hogy az egészséges és a rákos sejtek eltérő sebességgel halmozzák fel a radioaktív preparátumokat. A rákos sejtekre például a felfokozott foszforhalmozás jellemző.

Érthető, hogy a magfizikai módszerek alkalmazásakor nagyon kell figyelni a radioaktív preparátumok helyes adagolására, hogy a belső besugárzás ne károsítsa az ember szervezetét.

### 3 Alkalmazzuk a γ-sugárzást műszaki célokra

A γ-sugárzás egyik lehetséges alkalmazása a zárt tartályok feltöltöttségi szintjének automatikus ellenőrzése.

A berendezés működési elve a következő. Az edény egyik oldaláról γ-sugárzást irányítanak, a másik oldalon pedig mérik a sugárzás intenzitását. Ahol az edény még telt, ott a sugárzás szintje gyenge, ahol már üres, ott erős. Hasonló eszközöket alkalmaznak az automatikus kifolyásmérőkben, sűrűségmérőkben, tárgyak automatikus számlálóiban is.

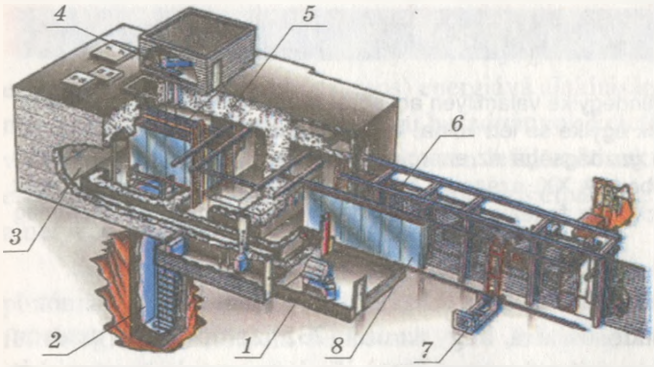
Különleges jelentőséggel bírnak a *gamma-defektoszkópok*. Ezek az eszközök alkalmasak például hegesztési varratok minőségének ellenőrzésére. Ha egy kapu hegesztése során a szakember hibát vétett, bizonyos idő elteltével a kapu tönkremegy. Ez természetesen kellemetlen, de helyrehozható. De mi van akkor, ha a hiba egy híd vagy egy magreaktor építése során következett be. A tragédia elkerülhetetlen. Annak köszönhetően, hogy a tömör acél és az üreges acél különbözőképpen nyeli el a γ-sugárzást, a gamma-defektoszkóp „látja" a hegesztési hibákat, tehát azok már az építés folyamán kimutathatóak.

### 4 Mikroorganizmusokat semmisítünk meg radioaktív sugárzással

Bizonyos esetekben a radioaktív sugárzás hasznos is lehet. Nézzünk néhány példát. Ismert, hogy bizonyos sugárdózis elpusztítja az élő szervezeteket. Léteznek azonban az ember számára káros élő szervezetek. Az orvosok folyamatosan vizsgálják, miként lehet felvenni a harcot a kórokozó mikroorganizmusokkal. A kórházakban speciális anyagokkal mossák fel a padlót, a helyiségeket ultraibolya sugarakkal fertőtlenítik, az orvosi eszközöket sterilizálják. Mindezen tevékenységek célja a csíramentesítés és fertőtlenítés.

A sterilizáció ipari szintre emelésében fontos szerepe volt a γ-sugárzás alkalmazásának. A manapság legnagyobb mennyiségben alkalmazott orvosi eszközöket – fecskendőket, vérátömlesztő-eszközöket stb. – egyszeri használatra szánt formában gyártják, amelyeket gyártásuk során γ-sugárzással fertőtlenítenek.

A sterilizációs központok valóságos iparvállalatok (35. 3. ábra). Ezek teljesen automatizáltak, hogy a személyzet sugárterhelését a lehető legkisebbre csökkentsék. Termelési lehetőségeik akkorák, ami napi több millió termék megmunkálását teszi lehetővé. Nagyon fontos, hogy minden egyes termék besugárzásakor az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által megengedett és elfogadott sugárdózist alkalmazzák. Sugárforrásként a sterilizációs központokban a kobalt egyik mesterséges izotópját, a kobalt-60-at alkalmazzák.




**35. 3. ábra**. Ipari sterilizáló berendezés vázlata:
*1* vezérlőpult; *2* sugárforrás tároló aknája;
*3* besugárzási zóna;
*4* sugárforrás emelő-berendezése;
*5* sugárzásvédő burok;
*6* futószalag; *7* berakodó;
*8* késztermék tároló

Orvosi berendezések gyártásán kívül a sterilizációs központok élelmiszerek csíramentesítését is végzik. Az élelmiszerek a tárolás folyamán rothadnak, emiatt bizonyos idő elteltével fogyasztásra alkalmatlanná válnak. A rothadást nagymértékben mikroorganizmusok elszaporodása okozza. Ha tehát ezeket a baktériumokat megsemmisítjük, akkor a rothadás sem következik be. Ilyen besugárzási eljárásnak naponta több száz tonna élelmiszert vetnek alá, elsősorban húst és halat, na meg a paragrafus elején emlegetett szamócát.

A tudósok által kifejlesztett sugárzási technológiáknak köszönhetően életünk számos területén a halálos ellenség segítőtárssá vált.

## Összegzés

A tudósok magreakciók segítségével megtanultak mesterséges radioaktív izotópokat készíteni. Ezeknek az izotópoknak a segítségével lehetséges egyes betegségek diagnosztizálása a szervekben felgyülemlett radioaktív izotópok γ-sugárzásának mérése alapján.

A gamma-sugárzást a műszaki életben többek között zárt tartályok feltöltöttségi szintjének mérésére vagy a fémek belső repedéseinek felderítésére használják.

A mesterségesen létrehozott kobalt-60 izotóp γ-sugárzását egyszerhasználatos orvosi műszerek csíramentesítésére és élelmiszerek tartósítására használják.

## Ellenőrző kérdések

**1.** Mit nevezünk izotópnak? **2.** Ki és hogyan fedezte fel a mesterséges radioaktivitást? **3.** Miben különbözött a mesterséges izotópok előállításának Fermi által ajánlott módja a Joliot-Curie házaspár módszerétől? Milyen előnyökkel rendelkezik a Fermi által javasolt módszer? **4.** Hozzatok fel példát a radioaktív izotópok orvosdiagnosztikai alkalmazására! **5.** Hozzatok fel példát a γ-sugárzás csíramentesítésre való alkalmazására! **6.** Miért lesznek tartósabbak az élelmiszerek γ-sugárzás hatására?

# 36*. §. LÁNCREAKCIÓ. AZ ATOMREAKTOR

?! „... Az előző korszakok mindegyike valamilyen anyagról kapta a nevét: volt kőkorszak, bronzkor, vaskor. De ezek egyike se lett volna, ha az ember meg nem tanul a tűzzel bánni. A világ tényleges gazdagsága az energia" – írta Frederick Soddy az *Anyag és energia* című könyvében. A XX. századot bátran nevezhetjük atomkornak, mert az ember ebben a században fedezte fel és kezdte meg használni az atommag energiáját.

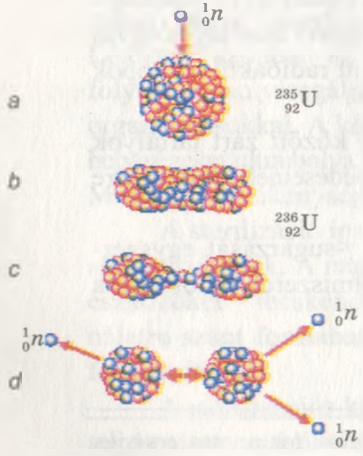
## 1 Megismerkedünk a láncreakcióval

1939-ben jöttek rá a tudósok arra, hogy az urán-235 izotóp és egy neutron kölcsönhatásaként egy új, instabil uránmag ( $^{236}_{92}U$ ) jön létre, amely azonnal két részre hasad, s ezek a részek nagyon nagy sebességgel szétrepülnek (36. 1. ábra).

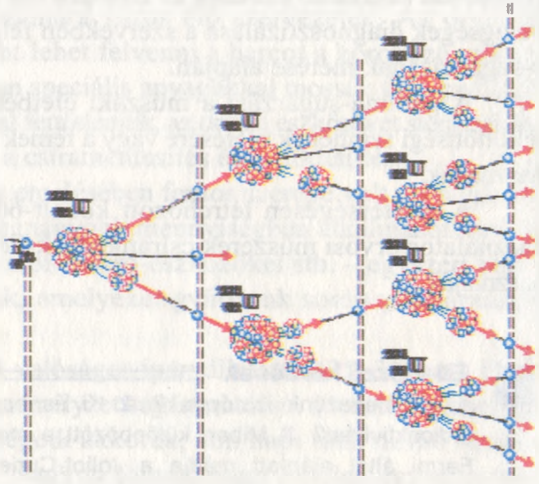
Minden uránmag hasadásakor 2–3 neutron keletkezik. Ezek a neutronok újabb uránmagok hasadását okozhatják, amelyek hasadása során újabb neutronok keletkeznek és így tovább. Ilyen módon a hasadó uránmagok száma gyorsan növekszik (36. 2. ábra). Ez a folyamat a *láncreakció* nevet kapta.

Nagyon fontos, hogy *a láncreakciót óriási mennyiségű energia felszabadulása kíséri.*

Egy uránmag hasadásakor nagyon kis mennyiségű energia szabadul fel: nagyjából $3{,}2 \cdot 10^{-11}$ J. De ha egy mól uránban található összes atommag ($6{,}02 \cdot 10^{23}$) széthasad, a felszabaduló energia eléri a $19{,}2 \cdot 10^{12}$ J-t. Ugyanennyi energia szabadul fel 450 t olaj elégetésekor.




**36. 1. ábra.** Az uránmag hasadásának vázlata. Neutron (*a*) elnyelésekor az uránmag gerjesztett állapotba kerül és megnyúlik (*b*), majd folyamatosan tovább nyúlik (*c*), végül az új instabil mag két hasadványra szakad szét



**36. 2. ábra.** A láncreakció keletkezésének vázlata

## 2 Megismerkedünk a reaktor felépítésével és működésével

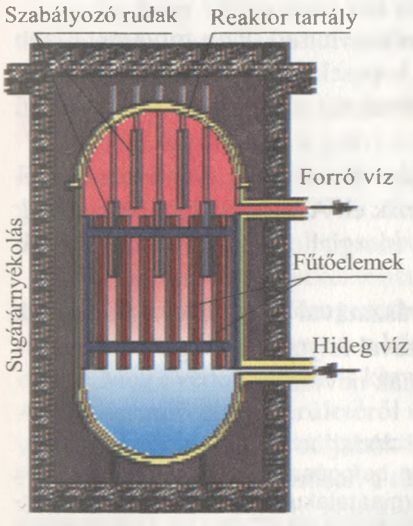
Az uránban és még néhány más anyagban végbemenő láncreakció a magenergia más (hő- vagy elektromos) energiává alakításának a kulcsa. A reakció alatt mind újabb és újabb nagyenergiájú hasadványok keletkeznek. Ha egy darab uránt vízbe teszünk, a hasadványok a vízben lefékeződnek és felmelegítik azt. Ennek eredményeképpen a hideg víz felforrósodik és elpárolog. Így működik a magreaktor, amelyben a magenergia hőenergiává alakul át.

A valóságos *atomreaktorokban* (36. 3. ábra) a tüzelőanyag (urán vagy plutónium) *fűtőelemekben* helyezkedik el. A fűtőelemekben keletkező hasadványok felmelegítik a fűtőelem burkolatát, ami felmelegíti a vizet (amely ez esetben *energiahordozó közeg*). Az így kapott hőenergiát elektromos energiává alakítják át, ahogy azt a hőerőművekben teszik (36. 4. ábra).

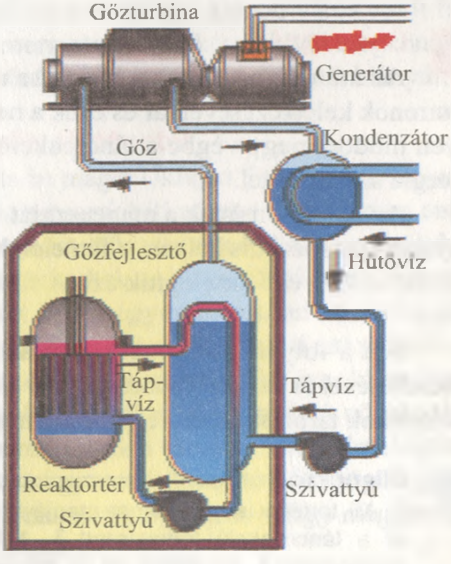
## 3 Bevezetjük a fűtőanyagciklus fogalmát

A nukleáris fűtőanyag hatásfoka több ezerszerese a tradicionális (szénhidrogén) fűtőanyagénak. A nukleáris fűtőanyag alkalmazása azonban nagyon sok problémát vet fel.

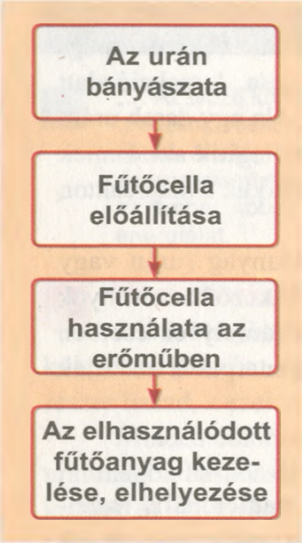
Ahhoz, hogy egy kilogramm alacsony hatásfokú fűtőanyagra – például fára – tegyünk szert, elegendő kimenni az erdőbe. Ahhoz, hogy egy kilogramm nukleáris fűtőanyagunk legyen, egész iparágat kellett létrehozni. A fa elégésekor keletkező hamut kiszórhatjuk a földre. De mit kezdjünk azokkal a fűtőanyagcellákkal, amelyek már elhasználódtak?




**36. 3. ábra.** A magreaktor szerkezeti vázlata




**36. 4. ábra.** Az atomerőmű vázlata




**36. 5. ábra.** A fűtőanyagciklus vázlata

A 36. 5. ábrán egy fűtőanyagciklus vázlatát láthatjuk. A ***fűtőanyagciklus*** *azon műveletek sorrendje, amely az uránérc bányászatától, feldolgozásától, dúsításától a fűtőanyagcellák elkészítésén és felhasználásán át a nukleáris hulladék kezeléséig és végleges elhelyezéséig vezet.*

Ukrajna uránérc tartalékai több évtizedre elegendőek. De ahhoz, hogy az uránércből fűtőelem legyen, egész sor specializált iparág szükséges (egymásra épülő ipari tevékenységek láncolata), s ezzel az ország teljes egészében nem rendelkezik. Az ukrajnai atomerőművek részére Oroszországban készítik a fűtőelemeket.

Miután a nukleáris fűtőanyag egy része elhasználódott (vagy ahogy a fizikusok mondják, a fűtőelem kiégett), azt újra kell cserélni. De hol tartsuk a kiégett fűtőelemeket, amelyek, mint ismeretes, erősen radioaktívak.

Az elhasználódott fűtőelemeket speciális konténerekben mélyen a föld alatt helyezik el, ahol több száz évig kell tárolni azokat. Úgy tűnhet, a csernobili erőmű környékének sugárfertőzött környezetét elhasználódott fűtőanyagok raktáraként lehetne használni, mivel a környék semmilyen más gazdasági tevékenység folytatására nem alkalmas. Akár más országok hulladékát is lehetne ott tárolni. Kérdés, érdemes-e Ukrajnát radioaktívhulladék-tárolóvá alakítani? Gondolkodjatok el ezen, milyen érvek szólnak mellette, melyek ellene!

## Összegzés

Az uránatom a neutron befogása után két részre hasad. Ez a folyamat újabb neutronok keletkezésével jár és ezek a neutronok képesek újabb hasadást előidézni. Ilyen módon megy végbe a láncreakció. A láncreakció során óriási mennyiségű energia szabadul fel.

Az atomerőművek a magenergiát hőenergiává alakítják át. A nukleáris fűtőanyagot egy speciális helyen, a fűtőelemben helyezik el. A hasadványok lelassulnak a fűtőelemben és felmelegítik azt. A fűtőcella az energiahordozó közegnek adja át a hőt.

Azt a folyamatot, amely az uránérc bányászatával kezdődik, a fűtőcellák elkészítésével és atomerőműben történő hasznosításával folytatódik, végül a radioaktív hulladékok tárolásával ér véget, fűtőanyagciklusnak nevezzük.

## Ellenőrző kérdések

1. Mi történik az uránatom magjával a neutron befogása után? 2. Magyarázzátok el a láncreakció folyamatát! 3. Milyen energiaátalakulások történnek a magreaktorban? 4. Soroljátok fel az atomenergia alkalmazásának előnyeit és hátrányait! 5. Milyen lépésekből áll a fűtőanyagciklus? 6. Hogyan történik a kiégett nukleáris fűtőanyag tárolása?

# 37. §. AZ ATOMENERGETIKA ÖKOLÓGIAI PROBLÉMÁI. TERMÉSZETES RADIOAKTÍV HÁTTÉRSUGÁRZÁS

?! A 34. §. tanulmányozása során megismerkedtünk azzal, hogyan hat a radioaktiv sugárzás az élő szervezetekre, valamint azzal, milyen műszerek segítségével mérhetjük a sugárzásokat. Ezzel a tudással felvértezve néhányan a laboratóriumi munkát meg sem várva kézbe veszik a dozimétereket és elkezdik a kísérletezést. Ne csodálkozzatok, ha a műszerek sugárzást fognak jelezni. De vajon ez baj, vagy így van rendjén? A radioaktiv sugárzás milyen szintje mellett kell sürgősen védekezni és milyen az a szint, amely mellett nyugodtan alhatunk? Ezekre a kérdésekre kaphattok választ ebben a paragrafusban.

**37. 1. ábra.** A rivnei atomerőmű

## 1 Megismerkedünk Ukrajna atomenergetikájával

Ukrajna a világ azon országai közé tartozik, ahol a jól képzett mérnökök és tudósok munkájának köszönhetően sikeresen fejlődik a modern technológia, többek között az atomenergetika is. Jelenleg az országban négy atomerőmű található: a délukrajnai, a hmelnickiji, a rivnei (37. 1. ábra) és a zaporizzsjai. Ezekben az erőművekben 15 energiablokk működik, amelyek összteljesítménye 13 580 MW. Az ország villamosenergia-termelésének közel felét ezek az erőművek állítják elő.

Egy atomerőmű működését több ezer jól képzett szakember biztosítja. Nem véletlen, hogy minden ukrajnai atomerőmű közelében egy kisebb város épült fel.

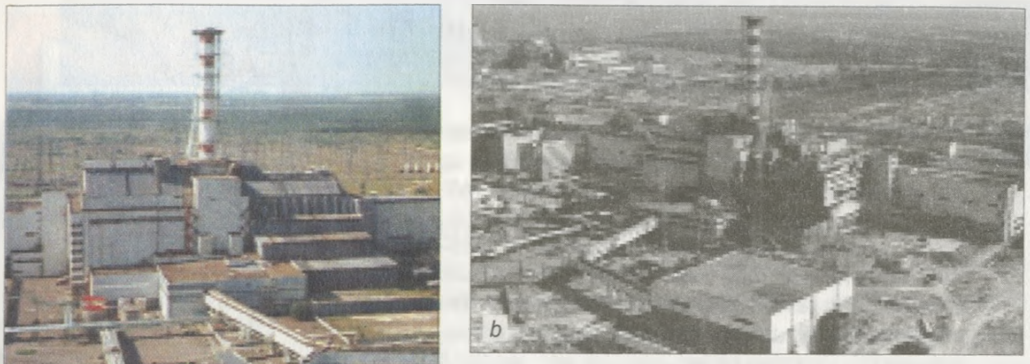
Az, hogy Ukrajnában van nukleáris energiatermelés, kétségkívül megkönnyíti a hagyományos energiahordozók – gáz, kőolaj, szén – egyre növekvő hiányát.

## 2 Felidézzük a csernobili tragédia történetét

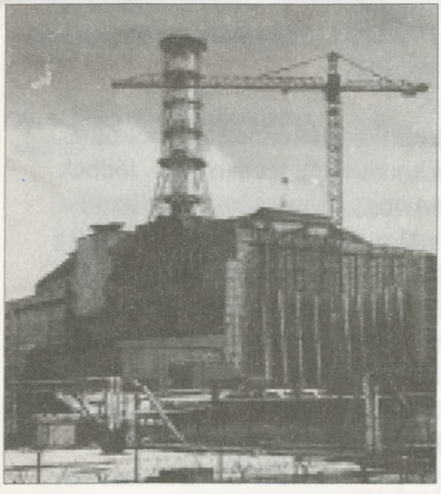
1986. április 26-a a gyász színével írta be magát Ukrajna történetének lapjaira. Ez volt az a nap, amikor robbanás történt a csernobili atomerőmű négyes energiatermelő blokkjában (37. 2. ábra). A tragédia műszaki okairól a 11. osztályban fogtok tanulni, amikor alaposabban megismerkedtek az atomerőmű felépítésével.

A robbanás következtében tűz ütött ki a négyes blokkban és radioaktív anyagok kerültek ki a környezetbe. A reaktor falai hatalmas kályhaként működtek, radioaktív füsttel szennyezve a környezetet. A szél ezt a füstöt több ezer kilométerre elvitte. Még Svédországban is kimutatható volt a radioaktivitás szintjének növekedése. A Szovjetunió egész területéről szakemberek jöttek a mentési munkálatok minél gyorsabb lebonyolítása céljából. Különösen nagy munkát végeztek a még nagyobb tragédia megakadályozásában a tűzoltók. Sokan életüket áldozták, hogy meggátolták a tűz átterjedését a többi energiatermelő blokkra.

Ilyen mértékű ipari katasztrófa az emberiség történelmében még nem volt, ezért a tüzet nem sikerült nagyon gyorsan megállítani. A robbanás eredményeképpen



**37. 2. ábra.** A csernobili atomerőmű a robbanás előtt (*a*) és után (*b*)



**37. 3. ábra.** A négyes energiatermelő blokkot borító szarkofág

Oroszország, Belorusszia és Ukrajna több régiója szenvedett sugárfertőzést. A reaktor 30 km-es körzetéből pedig ki kellett telepíteni a lakosságot.

A tűzoltók hősies erőfeszítésének köszönhetően végül sikerült megfékezni a tüzet, majd a felrobbant reaktorblokk fölé egy *szarkofágot* – olyan betonszerkezetet, amely meggátolta a radioaktív sugárzás továbbterjedését – emelni (37. 3. ábra).

Csernobilban ma már minden energiatermelő blokk működését megszüntették. Ukrajna több nemzetközi szervezettel karöltve azon dolgozik, hogy a négyes blokk fölé még egy, tökéletesebb szarkofágot építsen. Több mint 20 év telt el a tragédia óta, de a sugárfertőzés következményei ma is tetten érhetők, különösen a csernobili erőmű közvetlen környezetében.

## 3 Megtudjuk, mi a radioaktív háttérsugárzás

Attól függetlenül, hogy a Föld melyik pontján tartózkodunk, állandóan radioaktív sugárzásnak vagyunk kitéve, mivel mindenütt jelen van a *radioaktív háttérsugárzás*.

A **radioaktív háttérsugárzás** földi és kozmikus eredetű ionizáló sugárzás.

A radioaktív háttérsugárzás több összetevőből áll. Ez a kozmikus sugárzás a természetben, így a földkéregben, a levegőben, egyéb természeti objektumokban megtalálható radionuklidok sugárzása; *a mesterséges izotópok sugárzása*. A természetben előforduló radionuklidok sugárzása és a kozmikus sugárzás együttesen hozzák létre a *természetes radioaktív háttérsugárzást*.

Különböző emberi tevékenységeknek köszönhetően a háttérsugárzás szintje jelentősen emelkedett. Ezt a *természetes radioaktív háttérsugárzás technogén eredetű növekedésének* nevezzük. Az ilyen tevékenységek közé tartozik többek között a bányászat – például a kőszén, az építőipari nyersanyagok, a műtrágyagyártás nyersanyagainak bányászata –, amelyekre az jellemző, hogy tartalmaznak urán- és tórium sorozathoz tartozó radioaktív anyagokat. Természetes radioaktív anyagokban gazdag ásvány például a gránit. Kövessük tovább az események láncolatát. A gránitból kavics lesz, abból pedig beton, amelyből épületeket emelnek. Következésképpen a megnövekedett sugárzási szintet a betonépületeken belül kell keresni, különösképpen azok rosszul szellőztethető vagy zárt helyiségeiben (a radon koncentrációja az épületeken belül nyolcszorosan is meghaladhatja az épületen kívül mért értéket).

Az 1. táblázatból kiderül, hogy a lakosságra leginkább veszélyes radioaktív sugárforrások egyáltalán nem azok, amelyeket általában ezek közé sorolnak. Az embert ért legnagyobb sugárdózis természetes forrásokból, valamint az orvosi diagnosztikából, illetve sugárkezelésekből származik. A mesterséges háttérsugárzás elenyésző részét képezi csak a fegyverkísérletekből, nukleáris balesetekből, nukleáris energiatermelésből származó sugárzás. A nukleáris energiatermelés számlájára az emberi tevékenységek okozta sugárdózis-növekedésnek csak csekély hányada írható.

*1. táblázat*

*A különböző forrásokból származó ionizáló sugárzások egy emberre számított éves dózisegyenértékének átlagos értékei*

| Sugárforrás | Átlagos dózisegyenérték $H$, mber |
|---|---|
| Kozmikus sugárzás | 35 |
| Külső természetes források | 35 |
| Belső természetes források | 135 |
| Építőanyagok | 140 |
| Orvosi vizsgálatok | 140 |
| Tv-készülékek, monitorok | 0,1 |
| Nukleáris kísérletek | 2,5 |
| Nukleáris energetika | 0,2 |

### 4 Megvizsgáljuk, hogy hogyan hat a háttérsugárzás az ember egészségére

A földön az élet állandó radioaktív sugárzásnak kitéve keletkezett és fejlődött. Ezért feltételezhetjük, hogy a természetes radioaktív háttérsugárzás nincs hatással az ember egészségi állapotára. A modern sugárbiológiai kísérletek azt bizonyítják, hogy a természetes háttérsugárzásnak megfelelő évi 1–2 mSv értékű dózis az ember számára még nem káros. Az ezt az értéket meghaladó sugárdózis azonban olyan genetikai károsodást okozhat, amely a sugárzás

hatásának kitett ember gyerekeinél vagy unokáinál mutatkozik majd meg. Nagy sugárdózis erősen károsítja a szöveteket. Ha például az ember néhány órára 1 Sv értékű dózisnak van kitéve, az káros elváltozásokat okozhat a vérében. A 3–5 Sv értékű dózis az esetek 50%-ában halálos lehet.

A tudósok megállapították, hogy a természetes radioaktív háttérsugárzás mértéke nem haladhatja meg a 25 $\frac{\mu R}{h}$ -t. Amennyiben tehát a mért érték ez alatt marad, azt elfogadhatónak tekintjük, ha ezt meghaladja, akkor viszont ki kell deríteni a magas érték okát.

Fontos odafigyelni az élelmiszerekre. A lakosságnak a belső sugárzástól való megóvása céljából Ukrajnában szabályozták a cézium-137 és a stroncium-90 izotópok élelmiszerekben és ivóvízben megengedett fajlagos aktivitását (2. táblázat).

*2. táblázat*

*A cézium-137 és a stroncium-90 izotópok élelmiszerekben és ivóvízben megengedett fajlagos aktivitása*

| Élelmiszer neve | Megengedett fajlagos aktivitás, $\frac{Bq}{kg}$, $\frac{Bq}{l}$ | |
|---|---|---|
| | Cézium-137 | Stroncium-90 |
| Kenyér és péksütemények | 20 | 5 |
| Levél- és gyökérzöldségek | 40 | 20 |
| Gyümölcsök | 70 | 10 |
| Hús és húsipari termékek | 220 | 20 |
| Hal és halipari termékek | 150 | 35 |
| Tej és tejtermékek | 100 | 20 |
| Tojás (db) | 6 | 2 |
| Ivóvíz | 2 | 2 |
| Gyermekélelmezési cikkek | 40 | 5 |

## Összegzés

Jelenleg Ukrajnában négy atomerőmű üzemel, amelyek együttes teljesítménye 13 580 MW. Atomerőművek szolgáltatják az ország energiatermelésének csaknem felét.

1986. április 26-án a csernobili atomerőműben katasztrófa történt: felrobbant az erőmű négyes blokkja. Ez a robbanás okozta az emberiség történetének legnagyobb mértékű sugárszennyeződését. Oroszország, Ukrajna és Belorusszia területén jelentős területek fertőződtek meg. A fertőzés következményei ma is érezhetőek.

A földfelszín minden pontján jelen van bizonyos szintű radioaktív sugárzás – ez a természetes radioaktív háttérsugárzás. Ennek földi és kozmikus eredetű összetevői vannak.

A radioaktív háttérsugárzás összetevői: kozmikus sugárzás; természetes radionuklidok sugárzása; mesterséges izotópok sugárzása. A természetes radionuklidok sugárzása és a kozmikus sugárzás alkotják a természetes háttérsugárzást.

Az ember tevékenységének köszönhetően a radioaktív háttérsugárzás évről-évre folyamatosan növekszik. Ez a folyamat a radioaktív háttérsugárzás technogén eredetű növekedése. A természetes háttérsugárzás megengedett értéke $25\ \frac{\mu R}{h}$.

Mivel a radioaktív anyagok étkezés során bejuthatnak a szervezetünkbe, ezért a cézium-137 és a stroncium-90 izotópok fajlagos aktivitása az élelmiszerekben és az ivóvízben Ukrajnában törvényi szabályozás alá esnek.

### Ellenőrző kérdések

1. Soroljátok fel az ukrajnai atomerőműveket! Mekkora ezek összteljesítménye? 2. Miért okozta a csernobili erőműben bekövetkezett robbanás a történelem legnagyobb mértékű sugárfertőzését? 3. Mi az oka annak, hogy bárhol éljünk a földön, mindig radioaktív sugárzásnak vagyunk kitéve? 4. Mi a radioaktív háttérsugárzás? Milyen két komponensből tevődik össze? 5. Hogyan kerülhetjük el azt, hogy sugártöbblet hatásának legyünk kitéve? 6. Melyik technogén tényező okozza a radioaktív háttérsugárzás legnagyobb mértékű növekedését?

## 11. sz. LABORATÓRIUMI MUNKA

**Téma.** A személyi dozimeter felépítésének tanulmányozása és dozimetriai mérések végzése.

**Cél:** megismerkedni a dozimeter felépítésével; megtanulni a dozimeter használatát.

**Eszközök:** dozimeter.

### ÚTMUTATÓ A MUNKÁHOZ

#### Előkészület a kísérlethez

A munka megkezdése előtt idézzétek fel:

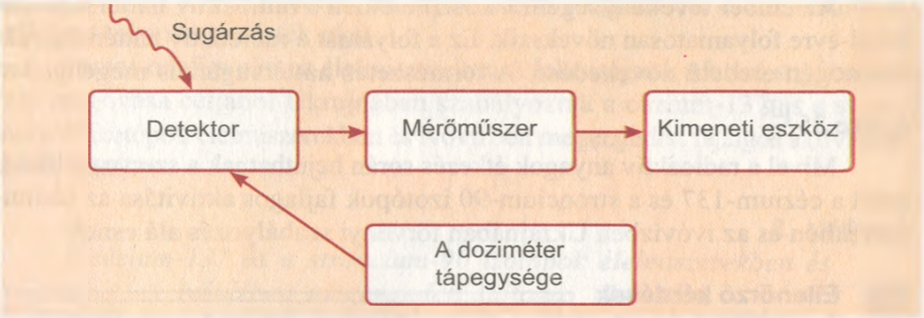
1) a radioaktív sugárzások tulajdonságait;
2) A Geiger–Müller-számláló felépítését és működési elvét!

#### Elméleti tudnivalók

A *dozimeter* annak az ionizáló sugárdózisnak és teljesítményének mérésére szolgáló műszer, amely a műszert (és annak használóját) éri valamely időintervallum, például egy munkanap során.

A *radiométer* egy sugárforrás vagy radioaktív minta (adott térfogatú folyadék vagy gáz, szennyezet felszín) radionuklidjainak aktivitását mérő műszer.

A dozimeter (és a radiométer) legfontosabb része a *detektor*, a radioaktív sugárzás detektálására szolgáló eszköz. Amikor az ionizáló sugárzás a detektorba jut, akkor az egy elektromos impulzust állít elő, amelynek paramétereit a beépített mérőműszer határozza meg. Az adatok egy kimeneti eszközön (számláló, hang- vagy fényjelző készülék) kerülnek megjelenítésre. A személyi dozimeterek általában radiométerként is képesek üzemelni. Az 1. ábrán egy dozimeter vázlatát láthatjuk.




1. ábra.

A személyi dozimeterek tömege néhányszor tíz grammtól nagyjából 400 g-ig terjed, a méretei pedig olyanok, hogy zsebben kényelmesen elférnek. Néhány modellt csuklón lehet viselni, mint egy karórát. Egy elemről néhány napig vagy néhány hónapig is képesek folyamatosan üzemelni. A személyi dozimeterek méréshatára általában 0,1–99,99 $\frac{\mu Sv}{h}$ között van.

2. ábra.

2. A modern dozimeterek felépítését az MKSZ-05 TERRA-P (2. ábra) példáján vizsgáljuk meg.

A műszer a γ-sugárzás dózisegyenértékének és a dózisegyenérték teljesítményének mérésére szolgál, továbbá β-radionuklidokkal szennyezett felületek vizsgálatára.

A műszer miniatűr β- és γ-detektort tartalmaz (Geiger–Müller-számlálót), elektronikai komponenseket tartalmazó nyomtatott áramköri lapot, valamint a műszer energiaellátását biztosító elemeket tartalmaz.

A műszer doboza alsó (*1*) és felső (*2*) fedélből áll. A felső fedél tartalmazza az kijelzőt (*3*), a műszer működésének irányítására szolgáló két nyomógombot (*4*) és egy hangszórót (*5*). Az alsó fedélben van az elemek rekeszének fedele és egy „+"-szal jelölt ablak a β-radionuklidokkal szennyezett felületek vizsgálatára. Ugyanott található a tájékoztató táblázat is.

**A dozimeter kezelése**

**1. Bekapcsolás.** A műszer bekapcsolása céljából nyomjuk le és egy másodpercig tartsuk lenyomva a РЕЖИМ nyomógombot. Bekapcsolás után a műszer automatikusan γ-sugárzás-mérés üzemmódba kapcsol.

**2. A dózisegyenérték-teljesítmény mérése gammasugárzás tartományban.** A dozimétert helyezzük el úgy, hogy a „+"-szal jelölt ablak a vizsgált objektum fölé kerüljön. A sugárzás szintjét a hangjelzés gyakoriságából mérhetjük fel (minden hangjelzés egy detektált γ-kvantumnak felel meg).

A mérési eredményeket a kijelzőről olvashatjuk le. Ha a sugárzás szintje hirtelen erősen megváltozik, a kijelzőn a számok villogni fognak. Ez azt jelenti, hogy a dozimétер egy átlagértéket próbál meghatározni.

**3. Egy felület β-radionuklidokkal való szennyezettségének mérése.** A dozimétert továbbra is γ-sugárzás-mérés üzemmódban működtetjük. A felület β-radionuklidokkal való szennyezettségének mérése céljából két mérést kell végeznünk: egyet nyitott, egyet pedig zárt ablakkal. A mérések különbsége mutatja, hogy milyen mértékben szennyezett a felület β-radionuklidokkal.

**4. Dózisegyenérték mérése gammasugárzás tartományban.** Ahhoz, hogy meghatározhassuk a műszert bekapcsolása óta ért γ-sugárzás dózisegyenértékét, meg kell nyomnunk a РЕЖИМ gombot. Hogy a mérési eredmények pontosak legyenek, tartsuk magunk előtt a műszert a mérés teljes ideje alatt. Új mérés előtt (nullára állítás) a műszert ki kell kapcsolni.

**5. A műszer kikapcsolása.** A műszer kikapcsolása céljából nyomjuk le, és 4 másodpercig tartsuk lenyomva a РЕЖИМ nyomógombot.

## Kísérlet

1. Ismerkedjünk meg az MKSZ-05 TERRA-P dozimétер felépítésével és működésével! Ha más típusú dozimétert használtok, írjátok le annak felépítését és működését!
2. A méréseket a fizika vagy informatika szaktanteremben végezzétek. Töltsétek ki az alábbi táblázatot!

| A kísérlet helyszíne | Mért mennyiségek | |
|---|---|---|
| | Neve | Értéke |
| | | |

## A kísérlet eredményeinek elemzése

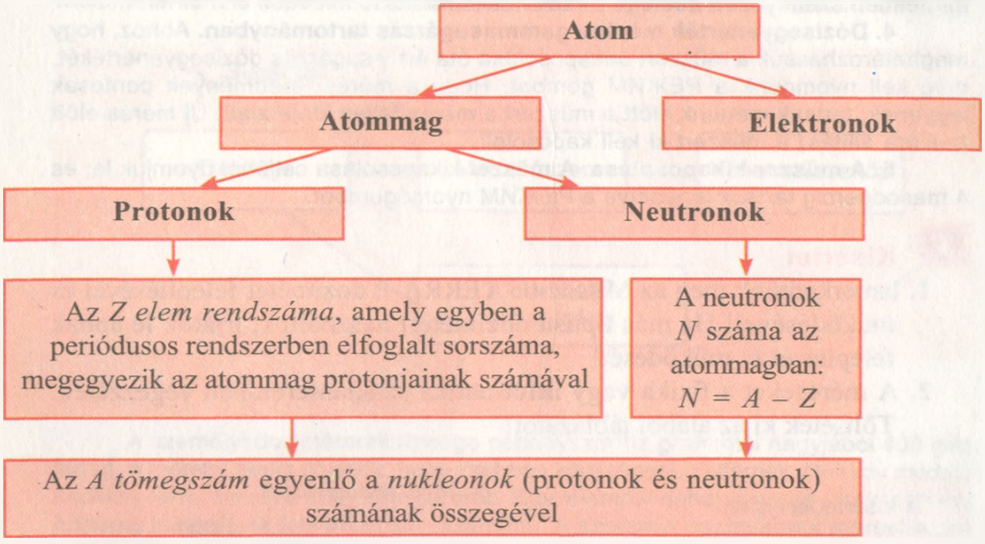
Fogalmazzatok meg következtetést, amelyben szerepeljen, hogy milyen fizikai mennyiségeket mértetek a személyi dozimétерrel; elemezzétek a kapott mérési eredményeket!

## Pótfeladatok

1. Mekkora sugárdózis ártalmas az emberi szervezetre?
2. Magyarázzátok el, milyen módon kerülhet a sugárzás az emberi szervezetbe! Nevezzétek meg a védekezés lehetséges módjait!

# AZ ATOMMAG ÉS MAGENERGETIKA CÍMŰ FEJEZET ÖSSZEFOGLALÁSA

**1.** A 4. fejezet tanulmányozása során felfrissítettük ismereteinket az atomról és az atommagról.




**2.** Megtudtuk, milyen körülmények között fedezték fel a radioaktivitást és megállapítottuk, hogy *a radioaktivitás nem más, mint egyes elemek atommagjainak az a tulajdonsága, hogy más elemek atommagjaivá alakuljanak át, mikrorészecskék kisugárzása mellett.*

**3.** Megismerkedtünk a *radioaktív sugárzás három fajtájával* és megállapítottuk azok természetét.

| Radioaktív sugárzás | | | |
|---|---|---|---|
| Fajtái | Természete | A részecske töltése | Sebesség |
| α-sugárzás | Hélium-atommagok | $2\|e\|$ | 10 000 $\frac{km}{s}$ körül |
| β-sugárzás | Elektronok | $e$ | 300 000 $\frac{km}{s}$ körül |
| γ-sugárzás | Elektromágneses sugárzás | Nincs | 300 000 $\frac{km}{s}$ |

**4.** Megtudtuk, hogy azokat az elemeket, melyeknek atommagjai radioaktív átalakulásra képesek, *radioaktív elemeknek* nevezzük, és hogy minden természetes radioaktív elem a négy *bomlási sor* közül pontosan egyhez tartozik.

**5.** Megállapítottuk, hogy a radioaktív átalakulás során új kémiai elem keletkezik, továbbá megismerkedtünk az *eltolódási szabállyal*.

**ELTOLÓDÁSI SZABÁLYOK**

Amikor az atommag α-részecskét sugároz ki, olyan új atommag keletkezik, amelynek rendszáma 2-vel, tömegszáma 4-el kisebb, mint a kiinduló elem rendszáma, illetve tömegszáma

Amikor az atommag β-részecskét sugároz ki, olyan új atommag keletkezik, amelynek rendszáma 1-gyel nagyobb, mint a kiinduló elem rendszáma

**6.** Megismerkedtünk a radioaktív sugárzást, a radionuklidokat és a radioaktív preparátumokat jellemző fizikai mennyiségekkel.

| Fizikai mennyiség | Képlete | Mértékegysége | | Átszámítási képlete |
|---|---|---|---|---|
| | | SI | Rendszeren kívüli | |
| Bomlási állandó | $\lambda = \frac{0{,}69}{T}$ | $\frac{1}{s}$ | – | – |
| Aktivitás | $A = \lambda N$ | becquerel (Bq) | curie (Ci) | $1\ Ci = 3{,}7 \cdot 10^{10}\ Bq$ |
| Elnyelt dózis | $D = \frac{W}{m}$ | gray (Gy) | rad | 1 Gy = 100 rad |
| Besugárzási dózis | $D_{exp} = \frac{q}{m}$ | $\frac{C}{kg}$ | röntgen (R) | $1\ R = 2{,}58 \cdot 10^{-4}\ \frac{C}{kg}$ |
| Dózisegyenérték* | $D_{equ} = K \cdot D$ | sievert (Sv) | ber | 1 Sv = 100 ber |
| Besugárzási dózisteljesítmény | $P_{exp} = \frac{D_{exp}}{t}$ | $\frac{C}{kg \cdot s}$ | $\frac{R}{h}$ | $1\frac{R}{h} = 7{,}2 \cdot 10^{-1}\ \frac{C}{kg \cdot s}$ |

**7.** Felmértük a nukleáris tüzelőanyag felhasználásának előnyeit, és megismertük Ukrajna nukleáris energetikájának fejlettségével.

**8.** Meggyőződtünk arról, hogy a radioaktív sugárzás befolyással van az ember egészségi állapotára, megismertük a *természetes radioaktív háttérsugárzással* és technogén eredetű növekedésének okaival.

* A dózisegyenérték lényegében az ember sugárkárosodásának várható mértékéről ad felvilágosítást. Inkább biológiai, mint fizikai mennyiség, mivel az élő szervezet bonyolult folyamatait is igyekszik figyelembe venni.

## ELLENŐRZŐ FELADATOK A 4. FEJEZETHEZ

*Az 1–7. feladatok megoldásai között csak egyetlen helyes válasz van.*

**1.** (*1 pont*) A berillium atommagjában 4 proton és 5 neutron van. Mennyi elektron van az atomban?
**a)** 1; **b)** 4; **c)** 5; **d)** 9.

**2.** (*1 pont*) Valamely kémiai elem atommagja 33 protont és 43 neutront tartalmaz. Határozzátok meg, melyik ez az elem!
**a)** technécium; **b)** arzén; **c)** urán; **d)** arany.

**3.** (*1 pont*) Mennyi protont, illetve neutront tartalmaz a $^{210}_{84}Po$ polóniumatom magja?
**a)** 84 protont és 84 neutront;
**b)** 84 protont és 210 neutront;
**c)** 210 protont és 84 neutront;
**d)** 84 protont és 126 neutront.

**4.** (*1 pont*) Rutherford az α-részecskékkel végzett kísérletei alapján:
**a)** megalkotta az atommag neutron-proton modelljét;
**b)** megmagyarázta a radioaktivitás jelenségét;
**c)** megmagyarázta a láncreakció mechanizmusát;
**d)** megalkotta az atom magmodelljét.

**5.** (*1 pont*) A β-részecskék:
**a)** hélium-atommagok;
**b)** gyors elektronok;
**c)** lassú neutronok;
**d)** elektromágneses sugárzás részecskéi.

**6.** (*1 pont*) Hol helyezkedik el az α-bomlás során keletkező elem a periódusos rendszerben a kiinduló atommaghoz képest?
**a)** két hellyel balra;
**b)** két hellyel jobbra;
**c)** egy hellyel jobbra;
**d)** egy hellyel balra.

**7.** (*1 pont*) Hol helyezkedik el a β-bomlás során keletkező elem a periódusos rendszerben a kiinduló atommaghoz képest?
**a)** két hellyel balra;
**b)** két hellyel jobbra;
**c)** egy hellyel jobbra;
**d)** egy hellyel balra.

**8.** (*2 pont*) Mekkora besugárzási dózis éri az embert egy nap alatt, ha a természetes radioaktív háttérsugárzás $25\ \frac{\mu R}{h}$?

**9.** (*2 pont*) Határozzátok meg a radioaktiv preparátum aktivitását, ha abban óránként $7{,}2 \cdot 10^{10}$ atommag bomlik el! A preparátum aktivitását tekintsük állandónak.

**10.** (*2 pont*) Ha egy színes televíziótól 2,5 m távolságra tartózkodunk 4 órán keresztül, akkor minket 0,01 μSv dózisegyenérték ér. Számítsátok ki az ionizáló sugárzás teljesítményét!

**11.** (*2 pont*) A neptúnium-237 természetes radioaktív bomlása során α-részecskét sugároz. Milyen atommag keletkezik a neptúnium-237 bomlásakor? Írjátok fel a magreakció egyenletét!

**12.** (*2 pont*) Az ólom-210 természetes radioaktiv bomlása során β-részecskét sugároz. Milyen atommag keletkezik az ólom-210 bomlásakor? Írjátok fel a magreakció egyenletét!

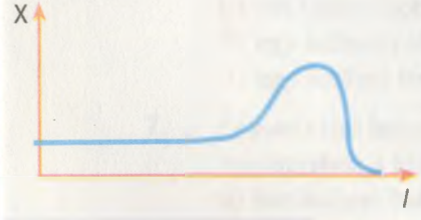
**13.** (*3 pont*) A röntgen-berendezést kezelő szakembert munkája során átlagosan 7 μGy dózis éri óránként. Dolgozhat-e ez az ember 200 napon át napi 6 órát, ha a besugárzás megengedett felső határa 50 mGy évente? Ismeretes, hogy ezt az embert a természetes radioaktív háttérsugárzás miatt évente 2 mGy dózis éri.

**14.** (*4 pont*) Egy radioaktiv preparátum pillanatnyilag $2 \cdot 10^{-10}$ mól rádiumot tartalmaz. Mennyi atommag bomlik el a következő másodpercben? A rádium bomlási állandója $\lambda = 1{,}37 \cdot 10^{-11}\ \frac{1}{s}$.

*Hasonlítsátok össze válaszaitokat a könyv végén található feleletekkel! Jelöljétek meg a helyesen megoldott feladatokat, és adjátok össze az így kapott pontokat! A kapott pontszámokat osszátok el kettővel! Az így kapott eredmény mutatja a jelenlegi tudásszinteteket.*

1. ábra. Sugárterápiás berendezés

2. ábra. A sugárkezelés idején a kezelőszemélyzet sugárvédett helységben tartózkodik



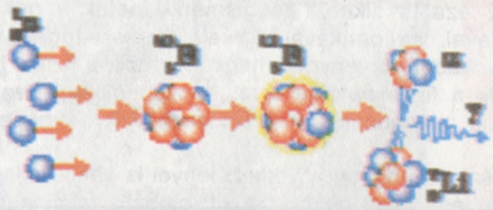

3. ábra. A szövetekben okozott kár ($\chi$) mértéke és a protonnak a testszövetben megtett úthossza ($l$) közötti összefüggés

## RUTHERFORD KÍSÉRLETEITŐL A GYÓGYÍTÁSIG

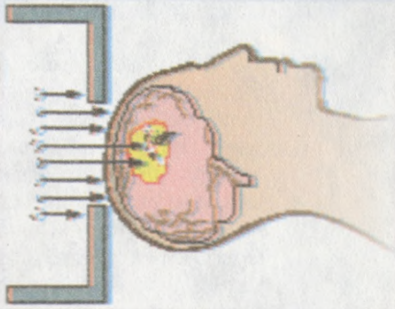
Országunk lakosainak többsége, mivel számukra még eleven a csernobili katasztrófa emléke, meglehetős gyanakvással él a „sugárzás" szó hallatán. A 4. fejezetből megtudhattuk, hogy a radioaktív sugárzás bizony veszélyes dolog. De ha betartjuk a biztonsági előírásokat, ellenőrzés alatt tartjuk a radioaktív háttérsugárzást, és szükség esetén idejében alkalmazzuk a szükséges intézkedéseket, a veszélyt jelentősen csökkenthetjük.

Vajon lehet-e a sugárzás hasznos az élő szervezet számára? Bizony vannak olyan betegségek, amikor az orvosok a beteg életének megmentése céljából kénytelenek ártani annak. Ma az egyik legelterjedtebb sugárterápia során a beteget $\gamma$-sugárzásnak teszik ki, amely áthatolóképessége elég nagy (1., 2. ábra). De a beteg szerv sugárkezelése során sajnos sugárzás éri az ahhoz közel elhelyezkedő egészséges szerveket is.

A fizikusok természetesen megpróbálták megoldani a problémát. Az első megoldás más sugárforrás alkalmazása volt. Kiderült, hogy az elég nagy sebességre felgyorsított protonok előnyökkel bírnak mind az alfa- mind a gammasugarakkal szemben. Ismeretes, hogy a protonok gyakorlatilag csak ott okoznak elváltozást, ahol lefékeződnek, pályájuk többi szakaszán az általuk okozott ártalom lényegesen kisebb (3. ábra). A protonok energiájának helyes megválasztásával elérhető, hogy azok csak a beteg sejteket érjék. Ez esetben, ahogy a harmadik ábráról leolvashatjuk, az egészséges sejtekben okozott kár mértéke lényegesen kisebb lesz, mint a beteg sejtekben. A sugárdózis által okozott kár a grafikon „púpja" előtt nagyságrendekkel



4. ábra. A neutron bóratommag általi befogását követő magreakció



5. ábra. A bór neutronbefogás terápia elvégzése agytumor esetében

kisebb, annak utána pedig nullával egyenlő. A protongyorsítók magas ára sajnos nem tette lehetővé a módszer tömeges elterjedését.

A beteg sejtek kezelésének egy másik módja a *bór neutronbefogás terápia*. Ez egy viszonylag új módszer. Ha katonai terminológiát használunk, akkor a gamma-sugárterápia nagy kiterjedésű területek bombázása, a protonbesugárzás az ellenség megsemmisítése olyan rakétákkal, amelyek találati pontossága sokkal jobb. A bór neutronbefogás terápia pedig a 007-es ügynök, amely tökéletes pontossággal semmisíti meg az ellenséget.

A bór neutronbefogás terápia alapötlete a következő. A bór sokkal nagyobb hatásfokkal fogja be a neutronokat, mint más atommagok. Ezért ha egy szövetet neutronokkal sugározunk be, a bór azokat akkor is hatásosan fogja be, ha a neutronok száma nagyon kicsi. Más atommagok gyakorlatilag nem érzékelik a sugárzást, vagyis a neutronsugárzás okozta ártalom minimális lesz.

Miután a bóratommag befogja a neutront, radioaktív átalakulás során $\alpha$-részecske sugárzása mellett lítiummaggá alakul át (4. ábra), amely kinetikus energiája egyetlen sejt megsemmisítéséhez elegendő. Ha tehát bórt juttatunk a beteg sejtbe, a „robbanás" után csak ez a sejt lesz megsemmisítve (5. ábra). A bór bejuttatását speciális gyógyszerek segítségével végzik.

# FIZIKA ÉS A TUDOMÁNYOS-TECHNIKAI HALADÁS

?! Már három éve tanultok fizikát, ezalatt sikerült megismerkednetek annak legfontosabb ágaival: a mechanikával, az optikával, az elektromossággal. Kiderítettétek, hogy mit neveznek a fizikában törvénynek, hogyan végzik a fizikai jelenségek kutatását. Mindig felhívtuk a figyelmeteket arra, hogyan öltöttek testet a tudósok által elért eredmények a mindennapi életünket megkönnyítő gépek és berendezések formájában.

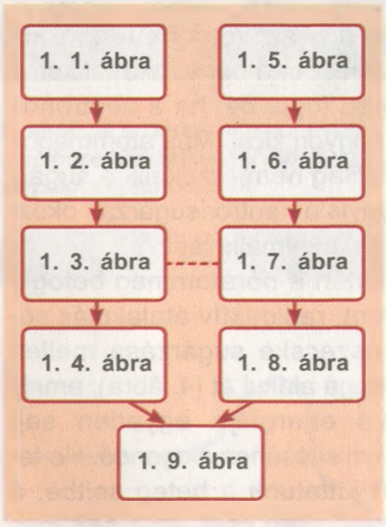
Azonban a műszaki haladásnak sajnos negatív következményei is vannak. Ilyen a légkör egyre fokozódó szennyeződése miatt bekövetkezett globális felmelegedés, vagy a tudomány eredményeinek emberiségellenes alkalmazása (terrorizmus), de a műszaki meghibásodás miatt bekövetkezett katasztrófák, például a csernobili atomerőműben bekövetkezett robbanás.

A befejező részben a fizika és a társadalmi haladás összefüggéseivel foglalkozunk majd.

## 1 Általánosítjuk a fizikai világképet

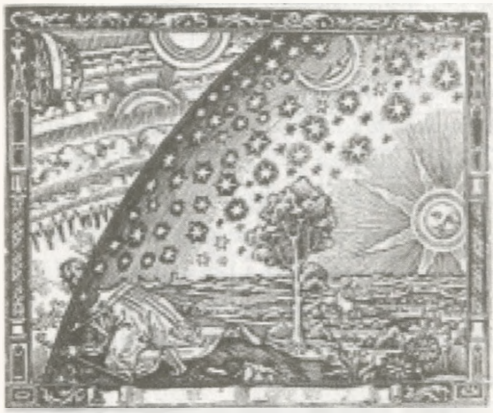
A fizika tanulmányozása – a kezdetektől, az ókori Arisztotelésztől mind a mai napig – nemcsak a konkrét fizikai jelenségek tanulmányozásával foglalkozott, hanem hozzájárult az egységes világkép kialakításához is. Erről a kapcsolatról már szó volt a fizika tanulmányozásának kezdetén. Most folytatjuk ennek megvitatását.

Az 1. ábra a világról alkotott elképzelések evolúcióját mutatja be. A *bal oldalon* a *makro- és megavilágról* alkotott elképzelések evolúciója látható. Kezdetben (1. 1. ábra) a Földet laposnak képzelték, amelyet egy kristálygömb ölel körül. A középkorban *Galileo Galilei* és *Kopernikusz* erőfeszítéseivel megalkották a *heliocentrikus világképet* (1. 2. ábra). A XX. században a tudósok elkezdték a csillagokban zajló folyamatok vizsgálatát. Kiderült, hogy e gigantikus anyagcsomók fénylése az akkoriban ismert legkisebb részecskékben – az atommagokban – végbemenő folyamatokkal vannak kapcsolatban (1. 3. ábra). Az óriásteleszkópok segítségével sikerült „meglátni" a távoli galaxisokban végbemenő eseményeket (1. 4. ábra). Ma a világegyetem legnagyobb rejtélye az úgynevezett „sötét anyag" természete. E titok felderítésének céljából hozták létre a tudósok a részecskegyorsítókat (1. 9. ábra).

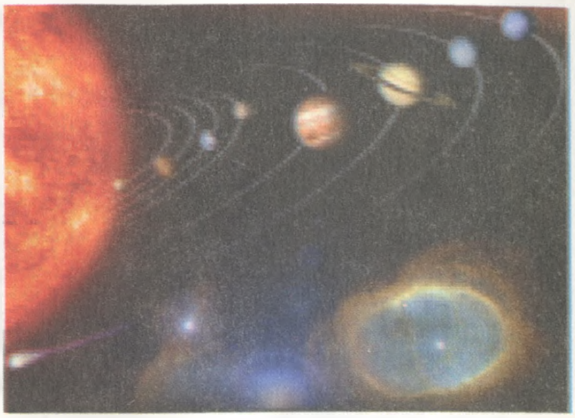



**1. ábra.** A makro- és mega- (balra), valamint a mikrovilágról (jobbra) alkotott nézetek evolúciója

Az 1. ábra *jobb oldala* a *mikrovilágról* alkotott elképzelések fejlődését mutatja. Az atomok létéről először a filozófusok logikai fejtegetéseiből értesülünk (1. 5. ábra). A XIX. században találkozunk



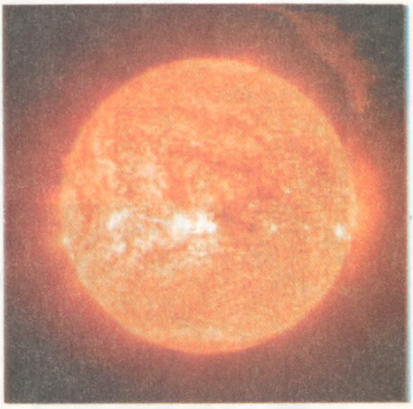
**1. 1. ábra.** A világ felépítéséről alkotott régi elképzelés (metszet)



**1. 2. ábra.** A Naprendszer felépítése

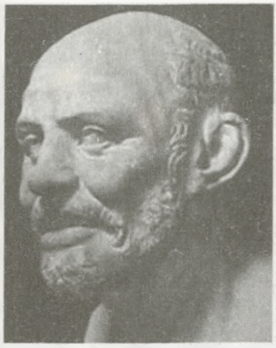
először az atomok létezésének egyedi kísérletek eredményeire támaszkodó közvetett bizonyítékaival (1. 6. ábra). Csak a XIX. sz. végén és a XX. sz. elején váltak ismertté az anyag atomos-nukleáris szerkezetének vitathatatlan bizonyítékai (1. 7. ábra). A múlt század végén építették meg az atomok közvetlen fényképezésére alkalmas szupernagy felbontású mikroszkópokat: az elektron-, a téremissziós-, az ion- és az alagútmikroszkóp (1. 8. ábra). Az anyag még finomabb szerkezetének tanulmányozása céljából a tudósok több kilométer átmérőjű részecskegyorsítót (hadronütköztetőt) építettek (1. 9. ábra), amelyet 2008-ban helyeztek üzembe.

Figyeljük meg, hogy *a mega- és mikrovilág kapcsolatát* a tudósok csak a harmadik szinten vették észre (1. ábra). Ma már a tudósok meg vannak győződve arról, hogy a világegyetem titkainak kulcsa az elemi részecskékről megszerzett tudásban van. A környezetünkkel foglalkozó két független tudományból így lett egyetlen tudomány.



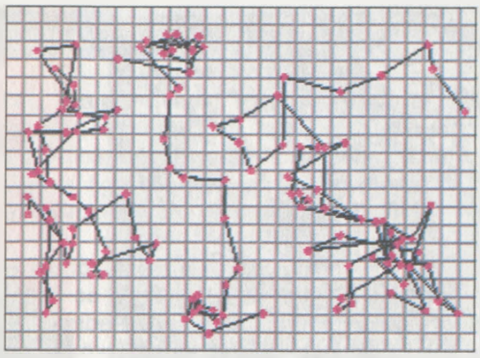
**1. 3. ábra.** A Nap fénylését magreakciók biztosítják

**1. 4. ábra.** Az űrteleszkóp segítségével a tőlünk 7000 fényévre lévő Sas-ködről készült kép



**1. 5. ábra.** Démokritosz (született kb. i. e. 460–470-ben) ógörög filozófus, akinek legfontosabb eredménye az atomról, mint az anyag oszthatatlan egységéről alkotott elképzelés megalkotása

**1. 7. ábra.** Az α-részecskék nyoma a Wilson-féle ködkamrában



**1. 6. ábra.** *Jean Baptiste Perrin* (1870–1942) francia fizikus rajza a folyadék felszínén mozgó virágporszemcse pályájáról. A folyadékmolekulák ütközései által okozott *Brown-féle mozgás* az anyag atomos felépítésének közvetett bizonyítéka

## 2 Összegezzük a fizikának a műszaki haladásban játszott szerepét

A műszaki haladás a tudomány és technika egységes, kölcsönös, folyamatos fejlődése.

A 9. osztályos fizikatanulmányaitok során többször hívtuk fel figyelmeteket a fizika és a technika szoros kapcsolatára. A fizikai tudományok több mint 25 évszázados fejlődése során nemcsak a világegyetem jelenségének megértésére irányultak a tudósok erőfeszítései. A fizikusok (például az ókori görög tudósok, elsősorban *Archimédesz*) mindig is igyekeztek tudományosan megalapozni egyik vagy másik műszaki eszköz vagy módszer alkalmazását.

A XIX. században új tendencia bontakozott ki. Ekkortól már nemcsak a létező, mérnökök által megalkotott eszközök működésének magyarázatához használták fel a fizika eredményeit, hanem ezek alapján új iparágak alakultak ki. Lássunk néhány példát.

A XIX. századig az elektromosság szinte csak a szalonok közönségének szórakoztatására szolgált (2. ábra). A XIX. század derekától, miután ismertté váltak az elektromos áram továbbítását és hatásait leíró törvények (Ohm törvénye, az elektromágneses indukció törvénye és így tovább), azonnal fejlődésnek indult az elektromos távíró- majd pedig a telefonhálózat. A rádió feltalálása és a rádiózás elterjedése azután vált lehetővé,

hogy *Maxwell megalkotta az elektromágneses hullámok elméletét.*

A XIX. században az új fizikai törvények megalkotása eléggé véletlenszerű volt. Ennek megfelelően az ezekkel a törvényekkel kapcsolatos új technikai alkalmazások fejlesztése is lassan, komótosan történt és ez a folyamat csak a XX. században vált rendezetté. Egész sor tervezet (amelyek közül az atombomba előállítására irányuló *Manhattan-terv* a legismertebb) kormányzati megrendelésre készült. Minden ilyen terv kivitelezése során előzőleg mérnöki munkálatokat (számítások, tervezés) valamint olyan tudományos kutatásokat hajtottak végre, amelyek alapján később a mérnökök dolgoztak.

Figyeljétek meg: egyik oldalról – tudományos kutatások, amelyek eredményeit előre nem ismerhetjük, a másikról – maga a terv, amelynek végrehajtási határideje van. Mégis az alkotó tudományos gondolat és a tervezhető mérnöki munka sikeres együttműködéséből született a tudományos-műszaki forradalom.

A fizika fejlődésének jelenlegi szakaszát a termeléssel és a kereskedelemmel történő szoros együttműködés jellemzi. A mérnökök és technológusok minden új műszaki feladat megoldása során tudósokkal dolgoznak együtt. Ennek az együttműködésnek egy példája a mobiltelefonok miniatürizálása.

A fizika természetesen hatással van más tudományok fejlődésére is. Ez elsősorban az anyag szerkezetének megismerésében tett erőfeszítéseknek köszönhető, valamint ezek kvantummechanikai elméleti megalapozásának. A kvantummechanikában elért eredmények alkalmazása a kémiában és a biológiában nagyban elősegítette e két tudomány fejlődését.

A csillagászatban, gyógyászatban, archeológiában alkalmazott műszerek és mérési módszerek majdnem mindegyike a fizika törvényeiből nőtt ki.

**1. 8. ábra.** Az anyag finomszerkezetének tanulmányozására szolgáló elektronmikroszkóp

**1. 9. ábra.** A nagy hadronütköztető, amelyen 80 ország szakemberei munkálkodtak együtt. A részecskék egy 26 km hosszúságú légmentes tóruszban (perec) gyorsulnak, amely 100 méter mélyen, két ország területén terül el

**2. ábra.** A vezetők és szigetelők létezésnek igazolása (XVIII. századi metszet). A képen selyemszálakon függő hintában egy nő ül. A jobb oldali férfi egy feltöltött rudat közelít a nő bal kezéhez. A másik oldalon látható férfi a kezét nyújtja a nő másik kezéhez és kettejük között szikra ugrik át

## 3 Tanulmányozzuk a fizika eredményinek környezeti hatásait

Az utóbbi évek során rövid idő alatt egyre több olyan terméket és anyagot hoznak létre, amelyek a jövőbeli nemzedék egészségére vannak befolyással. Ennek példája az uránium terv, amikor néhány ország kormánya (Szovjetunió, Franciaország, Kína, Nagy-Britannia) hatalmas szellemi és anyagi erőforrásokat összpontosítottak, hogy a tervet szoros határidőben teljesítsék. A feladat teljesítése közben előbb annak vezetői (*R. Oppenheimer, A. Szaharov*), majd az egész emberiség elgondolkozott azon, hogy milyen a létrehozott halálos fegyver hatása. Ennek eredményeképpen nemzetközi szerződésekben korlátozták az ilyen fejlesztéseket, majd létrehozták a Nemzetközi Atomenergia Ügynökséget, amelynek feladata a nukleáris fegyverek ellenőrzése.

Az atomenergia békés felhasználása elsősorban az atomerőművek felépítése és biztonságos működtetése. Formálisan az atomerőművek környezeti hatásai elhanyagolhatóak: normális üzemi feltételek mellett a káros sugárzások szintje nem haladja meg a hőerőművekben mért értéket. De minden megváltozhat, ha valami rendkívüli esemény történik. Ennek példája a csernobili katasztrófa, amely megmutatta, milyen következményei lehetnek annak, ha egy atomerőműben baleset történik. A szerkezetileg hibás erőművet bezárták, még ha ez gazdaságilag nagyon nagy veszteséget jelentett.

Sokan gondolhatják, hogy az ilyen globális változások nem tartoznak rájuk. Az atomerőművekben szakemberek dolgoznak, a csernobili katasztrófa lassan a múltba vész. De nézzünk egy másik példát. Ma már nagyon elterjedtek a mobiltelefonok. Valószínűleg mindenki hallott arról, hogy ezek sugárzása veszélyes lehet*. Ennek a problémának a megoldása a ti nemzedéketekre vár.

* Az 1. fejezetben már foglalkoztunk az elektromos tér káros hatásával. A mobiltelefonok által kibocsátott elektromágneses tér bizonyos feltételek mellett negatív hatással lehet az élő szervezetre.

## Összegzés

Történetének közel 2500 esztendeje alatt a fizikai tudomány fokozatosan fejlesztette a természetről alkotott elképzelést, egyesíti az ember makro-, mega- és mikrovilágról alkotott képét. A fizikusok nagy erőfeszítéseket tettek a megszerzett tudás gyakorlati hasznosításának irányában.

A XIX. századtól kezdődően a fizikusok nemcsak az ismert tények magyarázatával foglalkoznak, hanem új törvényeket felfedezve és azokra támaszkodva a technika egész ágazatait hozzák létre, illetve fejlesztik tovább őket.

Mára az jellemző, hogy a tudósok mintegy megrendelésre dolgoznak: a tudományos kutatásnak közvetlen gyakorlati céljai vannak.

A fizikusok eredményeit más tudományágak is hasznosítják, például a kémia és a biológia. A tudomány, az ipar, a mezőgazdaság a fizikából megismert műszereket és módszereket alkalmazza.

Az utóbbi évek során rövid idő alatt egyre több olyan terméket és anyagot hoznak létre, amelyek egész nemzedékek egészségét befolyásolják. Ezek az anyagi javak minden hasznuk ellenére sok gondot okoznak, okozhatnak. Például a mobiltelefonok, amelyek nagyon megkönnyítik a kommunikációt, esetlegesen az emberi szervezetre veszélyes sugárzás forrásai lehetnek.

## Ellenőrző kérdések

1. Milyen műszerekkel vizsgálják a megavilágot? 2. Milyen módszereket és műszereket használnak a tudósok a mikrovilág tanulmányozása során? 3. Hozzatok fel érveket amellett, hogy Ohm törvényének ismeretére szüksége van a mérnököknek! 4. Mondjatok példát a tudományos eredmények gyakorlati alkalmazásának pozitívumaira és negatívumaira!

## Referátum-készítéshez ajánlott témák

1. Új, szuperkemény, szuperkönnyű, korrózióálló konstrukciós anyagok.
2. Napelemek félvezető anyagai.
3. Optikai hírközlési vonalak: működési elvek és alkalmazott anyagok.
4. A plazma TV működése.
5. Nukleáris energiatermelő rendszerek: működési elvük és perspektívájuk.
6. A csernobili katasztrófa. A tragédia és hősiesség krónikája.
7. Az atomreaktorok biztonsága.
8. Az atomenergetika fejlődésének története.
9. Ideák drámája: az atombomba létrehozása.
10. A földfelszín vizsgálata űreszközök alkalmazásával. Ökológiai, mezőgazdasági és meteorológiai alkalmazások.
11. A Galileo-terv.
12. Az anyag összetételének aktivációs vizsgálata.
13. Magfizikai módszerek az archeológiában.
14. A szupravezetés gyakorlati alkalmazása.
15. A tudós felelőssége a változó világban.

# FELELETEK

## 1. fejezet. Az elektromos tér

**1. gyakorlat. 1.** Az *1* gömb pozitívan töltött, a *2* pedig negatívan. **3.** $N = 10$. **4.** Az atom 1, 2 vagy 3 elektront veszíthetett. **2. gyakorlat. 1.** Igen; nem; igen. **2.** $6{,}25 \cdot 10^8$. **3.** $3 \cdot 10^{-6}$ N. **3. gyakorlat. 1.** A pozitívan töltött pálca tömege kisebb. **2.** Igen. **3.** Pozitív. **5.** $3 \cdot 10^{-9}$ C. **7.** Először vonzódik hozzá, majd taszítódik tőle. **4. gyakorlat. 1.** 90 N. **2.** Negyedére csökken. **3.** Harmadára csökken. **4.** $2{,}3 \cdot 10^{-4}$ N. **5*.** 1,8-szeresére növekszik; 1,25-ára csökken.

**Ellenőrző feladatok az 1. fejezethez**

**1.** a. **2.** d. **3.** a. **4.** a. **5.** c. **6.** Dörzsöléssel történő elektromozáskor. **7.** Az emberi kéz vezető. **8.** Nem. **9.** A töltött hüvely vonzódik a kezünkhöz. **10.** Földelni kell a töltetlen gömböt, majd így közelíteni hozzá a töltött gömbbel. **11.** Négyszeresére növekedett. **12.** Kilencszeresére növekedett. **13.** 20 μC. **14.** $1 \cdot 10^{12}$ elektron. **15.** $0{,}5 \cdot 10^{-8}$ C; 90 μN.

## 2. fejezet. Elektromos áram

**5. gyakorlat. 3.** Igen, de rendszertelenül. **4.** A párás levegő vezető. **5.** Szigetelőkből kell készülniük. **7. gyakorlat. 3.** A galvánelem nem működne. **9. gyakorlat. 1.** a) 0,1 A, 0,2 A; b) 0,5 mA, 4,5 mA; c) 0,1 A, 1,8 A. **3.** 2 perc. **4.** 2,7 kC. **5.** 180 C. **6.** 3,2 A. **10. gyakorlat. 1.** a) 1 V, 4 V; b) 0,5 V, 6 V; c) 1 V, 7 V. **3.** 40 V. **4.** 48 J. **5.** 12 V. **11. gyakorlat. 1.** 2,7 Ω; 3,3 Ω; 4 Ω; 8 Ω. **2.** 225 V. **3.** 0,3 A; 1 A; 0,05 A. **4.** 8 kΩ. **6.** 60 Ω. **7.** 15 Ω. **8.** 0,25 A. **9.** Nem. **12. gyakorlat. 1.** *1* rézből; *2* vasból; *3* ólomból. **3.** 0,25 Ω. **4.** Negyedére csökken. **5.** 3 Ω; az ampermérő többet mutat, a voltmérő állása nem változik. **6.** 2 m. **7.** ≈ 2 mm. **8*.** 11,34 kg. **13. gyakorlat. 1.** 35 Ω. **2.** 60 V. **3.** Igen. **4.** 250 Ω. **5.** 0,2 A; 5,6 V. **14. gyakorlat. 2.** 144 V. **3.** 0,6 A; 0,4 A; 1 A. **4.** Az ezüstből készült vezetékben. **5.** 4 Ω; 1 A. **6.** 2,3 V. **7.** $K_2$; 0,4 A. **15. gyakorlat. 1.** 8,76 kW · h; 213 hrivnya 39 kop. **3.** ≈ 2,4 kJ. **4.** a) 300 kJ; 120 kJ; b) ≈ 24 kJ; ≈ 61 kJ. **5.** 0,41 A, 0,18 A; 537,8 Ω, 1210 Ω. **6.** 12,5 A. **7*.** 236 Ω. **8*.** Párhuzamos kapcsoláskor a teljesítmény négyszer nagyobb. **16. gyakorlat. 2.** 288 kJ. **3.** 5 kJ; 2,5 kJ. **4.** 17,5 perc. **5.** 120,4 V. **6*.** 9,25 m. **17. gyakorlat. 4.** 1,32 kW. **18. gyakorlat. 1.** A galvanométeren keresztül jobbról balra. **2.** Növelni. **19. gyakorlat. 4.** 12 h 24 perc. **5.** 40,32 g. **6.** 0,32 W. **20. gyakorlat. 1.** 26 perc 47 s; 24,8 kJ. **2.** 2 mm. **3.** 5 h.

**Ellenőrző feladatok a 2. fejezethez**

*1. rész*

**1.** b. **2.** d. **3.** b. **4.** b. **5.** c. **6.** a. **7.** d. **8.** c. **9.** b. **10.** a. **11.** c. **12.** 6 A. **13.** 3,6 V. **14.** 4 A. **15.** 6 V; 9 V. **16.** $V_1$ nem növekszik; $V_2$ növekszik; $V_3$ csökken; A növekszik.

*2. rész*

**1.** a. **2.** c. **3.** d. **4.** b. **5.** c. **6.** d. **7.** c. **8.** a. **9.** c. **10.** c. **11.** 24 W; 48 W; 72 W. **12.** 1,75 A. **13.** 1,1 °C. **14.** 12 W; 12 W; 24 W. **15.** 4,5 μm.

## 3. fejezet. Mágneses tér

**23. gyakorlat. 2.** *B*-től *A*-ig. **4.** A mágnes a tekercshez vonzódik. **5.** Jobb oldala negatív, bal oldala pozitív. **6.** a) a tekercs a mágneshez vonzódik; b) eltaszítódik. **24. gyakorlat. 1.** Bal oldala északi, jobb oldala déli. **2.** A *B* és a *C* szorítókapcsokhoz. **4.** Növekszik. **25. gyakorlat. 1.** Alul északi, felül déli. **2.** Tőlünk el. **3.** Jobbra. **4.** A vezetőkeret bal oldalán felfelé; a jobbon lefelé. **7.** A szeg fel-le fog rezegni. **27. gyakorlat. 1.** Nem keletkezik. **2.** Abban az esetben, ha a másik tekercsben megváltozik az áram iránya.

**Ellenőrző feladatok a 3. fejezethez**

**1.** a. **2.** b. **3.** c. **4.** c. **5.** c. **6.** c. **7.** b. **8.** A gabona megtisztítása a fémtárgyaktól. **9.** Balra negatív, jobbra pozitív. **10.** Balra negatív, jobbra pozitív. **11.** Igen; nem. **12.** Felül északi, alul déli. **13.** Felül déli, alul északi; csökken. **14.** Harmadára csökken.

## 4. fejezet. Az atommag. Magenergetika

**28. gyakorlat. 1.** 5 elektron. **2.** Gallium. **3.** 18 proton; 22 neutron. **4.** Antimon (Sb). **5.** Az atommagban lévő neutronok számában. **29. gyakorlat. 1.** $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$. **2.** $^{234}_{92}\mathrm{U}$. **4.** A legnagyobb a radon aktivitása. **5.** $\approx 7{,}1 \cdot 10^{17}$ atommag. **6.** $2{,}7 \cdot 10^{10}$ Bq. **7.** $1{,}6 \cdot 10^{3}$ Bq. **30. gyakorlat. 1.** $7{,}2 \cdot 10^{-6}$ Gy. **2.** 1,66 mSv. **3.** $D_e = 90$ μSv.

**Ellenőrző feladatok a 4. fejezethez**

**1.** b. **2.** b. **3.** d. **4.** d. **5.** b. **6.** a. **7.** c. **8.** 600 μR. **9.** $2 \cdot 10^7$ Bq. **10.** 0,0025 μSv/h. **11.** $^{233}_{91}\mathrm{Pa}$. **12.** $^{210}_{83}\mathrm{Bi}$. **13.** Veszélyes (10,4 mGy). **14.** 1650 atommag.

# TÁRGYMUTATÓ


A Akkumulátorok 38
Alfa-sugárzás 177, 181
Ampere hipotézise 186
Ampere-féle erő 155
Ampermérő 48
Áram iránya 43
Áramerősség 46
Áramforrás 36, 41
Áramkör 41
Atomreaktor (Magreaktor) 203
B Balkéz-szabály 155
Becquerel 186
Béta-sugárzás 182
Biológiai hatásosság 190
Bomlási állandó 185
Bomlási sorok 186
C Coulomb 6, 47
Coulomb-féle erő 22
Coulomb-törvény 22
D Dózisegyenérték teljesítménye 191
Dugóhúzó-szabály 146
E Elektromágnes 150
Elektrokémiai egyenérték 108
Elektrolit 106, 107
Elektrolitikus disszociáció 105
Elektrolízis 107
Elektrolízis törvénye (Faraday első törvénye) 108
Elektromágneses indukció 14
Elektromos
– ellenállás 58
– fogyasztásmérő 87
– töltés 5, 6
Elektromos áram 30
– elektrolitokban 106
– félvezetőkben 126
– fémekben 102
– gázokban 117
Elektromos áram munkája 52, 87
– teljesítménye 88
Elektromos áramfejlesztő 165
Elektromos feszültség 52
Elektromos tér 9
Ellenállás-hőmérő 103
Eltolódási szabály 184
F Fajlagos ellenállás 62
Felezési idő 185
Félvezetők 31, 125
Fényellenállás 129
Fogyasztó 41
Forrás aktivitása 186
Fűtőanyagciklus 204
Fűtőelem 203
G Galvánelem telep 39
Galvánelem 37
Gamma-sugárzás 182
Gázkisülés 117, 118
Geiger–Müller-számláló 196
Gray 190
H Hangszóró 162
I Ionizáció 117
Ionizáló sugárzás
– besugárzási dózisa 190
– dózisegyenértéke 190
– elnyelt dózisa 189
J Jobbkéz-szabály146
Joule–Lenz-törvény 95
K Kapcsolási rajz 43
Kölcsönhatási erő 178
L Láncreakció 202
M Magfizika 174
Mágnes pólusai 138
Mágneses erővonalak 140, 146
Mágneses erővonalak iránya 140, 146
Mágneses
– tér 139, 146
– anomáliák 144
– anyagok139
– viharok 143
Méréműszerek160–162
Mesterséges radioaktív elemek 180
N Neutron 7, 175
Nukleonok 175
O Ohm-törvény 59
P Proton 175
R Radioaktivitás 180, 184
Rekombináció 118
Rendszám (elemé) 175
Reosztát 63
Röntgen 191
S Sievert 190
Szigetelők 14, 31
Szupravezetés 103
T Természetes radioaktív elemek 180
Termisztor 129
Testek elektromozása 5, 6, 12, 14
Torziós mérleg 21
Töltésmegmaradás törvénye 13
Tömegszám 175
V Vezetők 13, 31
– párhuzamos kapcsolása 41, 79
– soros kapcsolása 41, 71
Villanymotor 156, 157
Volt 52, 53
Volt-amper karakterisztika 58
Voltmérő 53

# TARTALOM

## 1. fejezet. Az elektromos tér


1. §. A töltés és az elektromágneses kölcsönhatás ..... 4
2. §. Az elektromos tér. A töltéssel rendelkező testek kölcsönhatása ..... 8
3. §. Az elektromozás mechanizmusa. Elektroszkóp ..... 12
*1. sz. laboratóriumi munka* ..... 18
4. §. Coulomb törvénye ..... 20

Az *Elektromos tér* című fejezetet összefoglalása ..... 24
Ellenőrző feladatok az 1. fejezethez ..... 26
Enciklopédiai oldal ..... 28


## 2. fejezet. Elektromos áram


5. §. Elektromos áram. Az anyag elektromos vezetőképessége ..... 30
6. §. Az elektromos áram hatásai ..... 33
7. §. Áramforrások. Galvánelemek és akkumulátorok ..... 36
8. §. Az áramkör és elemei ..... 40
9. §. Áramerősség. Az áramerősség mértékegysége. Ampermérő ..... 46
*2. sz. laboratóriumi munka* ..... 51
10. §. Elektromos feszültség. A feszültség mértékegységei. Voltmérő ..... 52
*3. sz. laboratóriumi munka* ..... 56
11. §. Az elektromos ellenállás. Ohm törvénye ..... 57
12. §. Az anyagok fajlagos ellenállása.
A vezető ellenállásának kiszámítása. Reosztát ..... 61
*4. sz. laboratóriumi munka* ..... 67
*5. sz. laboratóriumi munka* ..... 69
13. §. A vezetők soros kapcsolása ..... 71
*6. sz. laboratóriumi munka* ..... 77
14. §. A vezetők párhuzamos kapcsolása ..... 79
*7. sz. laboratóriumi munka* ..... 85
15. §. Az elektromos áram teljesítménye és munkája ..... 87
*8. sz. laboratóriumi munka* ..... 93
16. §. Az áram hőhatása. Joule–Lenz törvénye ..... 94
17. §. Elektromos melegítők. Biztosítékok ..... 98
18. §. Elektromos áram a fémekben ..... 102
19. §. Elektromos áram folyadékokban ..... 105
20. §. Az elektrolízis alkalmazása ..... 110
*9. sz. laboratóriumi munka* ..... 114
21. §. Elektromos áram a gázokban ..... 116
22. §. Az önfenntartó gázkisülések fajtái ..... 120
23. §. Elektromos áram a félvezetőkben ..... 125

Az *Elektromos áram* című fejezet összefoglalása ..... 130
Ellenőrző feladatok a 2. fejezethez ..... 132
Enciklopédiai oldal ..... 136

## 3. fejezet. A mágneses tér

24. §. Állandó mágnesek. Mágneses tér. A mágneses tér erővonalai ..... 138
25. §. A Föld mágneses tere ..... 142
26. §. Az áram mágneses hatása. Az áramjárta vezető mágneses tere ..... 145
27. §. Elektromágnesek és azok alkalmazásai ..... 149
*10. sz. laboratóriumi munka* ..... 153
28. §. A mágneses tér hatása az áramjárta vezetőre. A balkéz-szabály. Elektromotorok ..... 154
29. §. Elektromos mérőműszerek. Hangszóró ..... 160
30. §. Faraday kísérletei. Az elektromágneses indukció jelensége ..... 164

A *Mágneses tér* című fejezet összefoglalása ..... 168
Ellenőrző feladatok a 3. fejezethez ..... 170
Enciklopédiai oldal ..... 172

## 4. fejezet. Az atommag. Magenergetika

31. §. Az atom és az atommag ..... 174
32. §. Radioaktív sugárzás ..... 179
33. §. A radionuklid aktivitása. Eltolódási szabályok ..... 184
34. §. Az ionizáló sugárzás elnyelt dózisa és dózisegyenértéke ..... 189
35*. §. Radioaktív izotópok előállítása és alkalmazása ..... 194
36*. §. Láncreakció. Az atomreaktor ..... 198
37. §. Az atomenergetika ökológiai problémái. Természetes radioaktív háttérsugárzás ..... 201
*11. sz. laboratóriumi munka* ..... 205

*Az atommag. Magenergetika* című fejezet összefoglalása ..... 208
Ellenőrző feladatok a 4. fejezethez ..... 210
Enciklopédiai oldal ..... 212
Fizika és a tudományos-technikai haladás ..... 214
Feleletek ..... 220
Tárgymutató ..... 221

*Навчальне видання*

БОЖИНОВА Фаїна Яківна
КІРЮХІН Микола Михайлович
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

**ФІЗИКА**
**9 клас**

Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів
із навчанням угорською мовою

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Переклад з української

Перекладачі:

*Аттила Адальбертович Штерр,*
*Гавриїл Гаврилович Семере*

Угорською мовою

Зав. редакцією *А. А. Варга*
Редактор *Б. Б. Ковач*
Коректор *І. О. Петро*
Художник *В. В. Зюзюкін*
Фотографії *В. В. Хлистун*

Підп. до друку 09.09.09. Формат 70x100/16. Папір офс. Гарнітура Таймс. Друк офс. Умовн, друк. арк. 18,2. Обл.-вид. арк. 21,84. Тираж 1930 пр. Вид. № 31. Зам. № 31.

Державне підприємство
"Всеукраїнське спеціалізоване видавництво "Світ"
79008 м. Львів, вул. Галицька, 21
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2980 від 19.09.2007
www.dsv-svit.l viv.ua
e-mail: offlce@dsv-svit.lviv.ua

Друкарня ТОВ "Папірус-Ф"
88000 м. Ужгород, вул. Лермонтова, 25