

EGYSZERŰ KÍSÉRLETEK MÁGNESEKKEL

Juhász András
ELTE, Anyagfizikai Tanszék

A technika fejlődése a fizikai jelenségek demonstrációjában folyamatosan új lehetőségeket nyit. Így van ez a mágneses kísérletek esetén is, ahol a különösen erős, porkohászati módszerekkel előállított permanens mágnesek tesznek megvalósíthatóvá nagyon egyszerű és látványos kísérleteket. A új típusú mágneseket három nagy csoportba sorolhatjuk:

- *Ferritmágnesek* – közismert nevükön kerámiámágnesek. A ferritmágnesek kiindulási anyaga 80% vasoxid és 20% stroncium- vagy báriumkarbonát. Az anyagokat finom porrá őrlik össze, kiégetik, ennek eredménye a stroncium- vagy báriumferrit oxidkerámia. Ezt ismét megőrlik, ezután a kristályszemcsék mint elemi mágnesek tekinthetők. A mágneses porból erős mágneses térben történő nedves préseléssel állítják elő a kívánt alakú terméket, az irányított mágneses szemcséket magas hőmérsékletű szintereléssel rögzítik egymáshoz. A ferritmágnesek olcsók, erősek, korróziós hatásoknak jól ellenállnak.

- *Szamárium-kobalt mágnesek*. A ferritmágneseknél erősebb, a korróziós hatásoknak ellenálló, de drága mágnesek, ezért az iskolai kísérletezésben inkább a két másik típusú mágneset ajánljuk.

- *Neodym szupermágnesek*. Ezeknek az 1980-ban felfedezett mágneseknek a neve is jelzi, hogy a legerősebb permanens mágnesek. Anyaguk neodímiumot, vasat és bórt tartalmaz. Az előállítás során az alapanyagokból először előtözetet készítenek, majd ezt finom porrá őrlik. A porból erős külső mágneses térben történő préseléssel készítik a terméket. A neodymmágnesek a samárium-kobalt mágneseknél erősebbek és olcsóbban előállíthatók, egészen 250 °C-os környezeti hőmérsékletig használhatók, de törékenyek, és korrodálnak. A törékenységre jellemző, hogy attól is elpattanhatnak, ha két mágnes egymáshoz csapódik az ellentétes pólusaik közötti vonzás hatására. A környezeti korrózió ellen úgy védik a mágneset, hogy nikkelbevonattal látják el. A neodym szupermágnesek egyszerűen, olcsón beszerezhetők

(pl. <http://www.euromagnet.hu>) és jól használhatók iskolai kísérletezésre.

A következőkben a fenti mágnesekkel elvégezhető néhány egyszerű demonstrációs kísérletet ismertetek.

Neodymmágnes „erősségének” bemutatása

A neodymmágnesek rendkívüli erősségét egyszerű, de látványos kísérletekkel szemléltethetjük:

- Két mágneskorong a mutatóujjunkon keresztül olyan erővel vonzza egymást, hogy a súrlódás nem engedi leesni őket (*1.a ábra*).

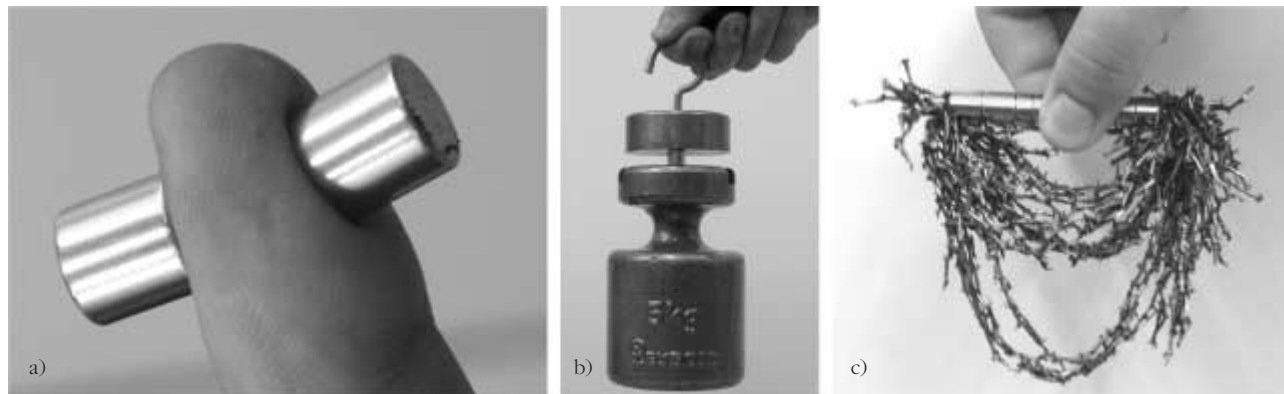
- A 8 mm átmérőjű, 1 cm magas mágneshenger közbeiktatásával 5 kg tömegű vastömböt tudunk tartani (*1.b ábra*).

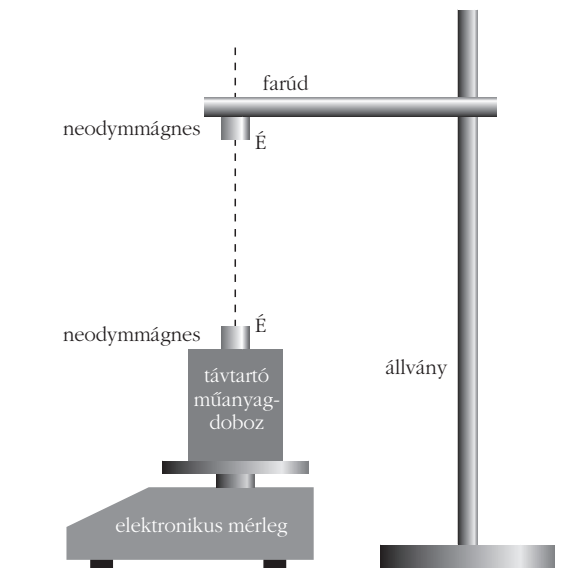
- A több mágneshengerből összetapasztott mágnesrúd olyan erős, hogy apró vasszögek sokaságát képes magához rántani. A mágneses megosztás miatt a szögek láncokba rendeződnek, amely láncok látványosan szemléltetik a mágneses erővonalakat (*1.c ábra*).

Mágnesek kölcsönhatásának vizsgálata egyszerű mérőkísérlettel

300 g méréshatárú, századgramm érzékenyséű elektronikus mérlegre helyezünk körülbelül 10 cm magas könnyű műanyagdobozt (a doboz arra szolgál, hogy az erős mágnes ne kerüljön az elektronikus mérleg közvetlen közelébe), erre szigetelőszalaggal vagy pillanatrágasztóval rögzítsünk egy mágneshengert (*2. ábra*). Nullázzuk ebben a helyzetben a mérleget. Egy másik mágneset ragasszunk farúdra úgy, hogy felső lapjának polaritása ugyanolyan legyen, mint a mérlegre tett mágnesé. A mágneset tartó fogjuk állványba (vasállvány nem alkalmas!) és a rajta lévő mágneset állítsuk a mérlegen lévő mágnes fölé. A hasonló pólusaival szemben álló két mágnes közt fellépő taszítóerőt a mérleg közvetlenül

1. ábra. A neodymmágnesek rendkívüli erősségének demonstrálása



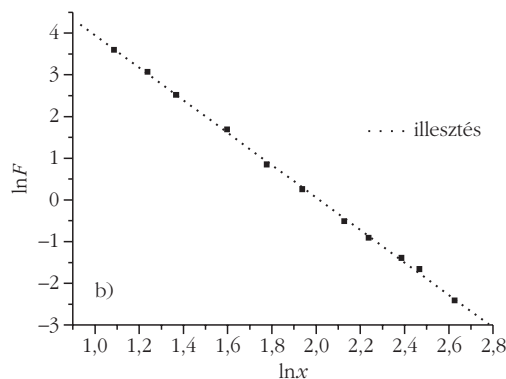
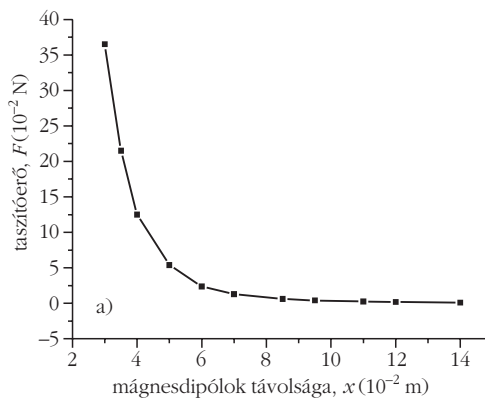
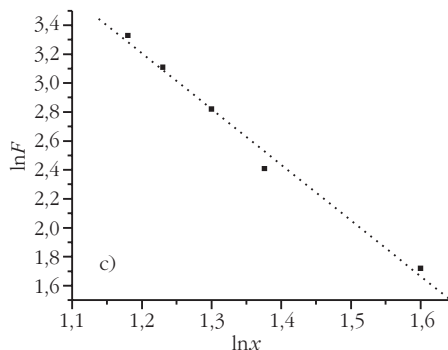
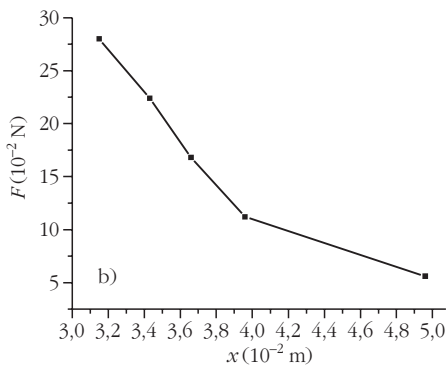


2. ábra. A taszítóerő távolságfüggésének mérése érzékeny mérleggel, a távolság változtatásával

méri. Változtassuk a két mágnes távolságát, és mérjük le a különböző távolságokban ható erőket (a mágnesek távolságának változtatásakor ügyeljünk, hogy a két mágneshenger tengelye egybeessen).

A mérési eredményeket az 3.a ábra grafikonja mutatja. A grafikonról leolvasható, hogy azonos pólusaikkal egymás felé fordított két neodymmágnes közti erő rohamosan nő a két mágnes közelítésével. A dipólusok közti kölcsönhatást (elektrosztatikai analógia alapján) hatványfüggvény alakjában keressük. A mért erő- és távolságadatok logaritmusát ábrázolva (3.b ábra) a pontok negatív

4. ábra. Taszítóerő távolságfüggésének mérése a lebegő mágnesekkel, a taszítandó tömegek változtatásával a), a mérés eredménye b) és a hatványjelleg igazolása c).



3. ábra. A taszítóerő távolságfüggése a), valamint a hatványjelleg alakjának igazolása b)

dőlésű egyenesre illeszkednek. Az illesztett egyenes meredeksége, azaz az erő távolságfüggésének hatványkitevője $-3,89 \approx -4$.

Lebegő mágnesek

A neodym mágneshengerek átmérőjénél alig nagyobb belméretű üvegcső egyik végét zárjuk le dugóval, majd a csövet függőlegesen tartva engedjük bele két, azonos pólusával egymás felé fordított mágneset. (Az üvegcső mérete engedje könnyedén mozogni a mágneset a csőben, de ne engedje, hogy a mágnesek tengelye kibillenjen a függőlegesből.)

A szembefordított mágnesek közti ható taszítóerő nem engedi „leesni” a felső hengert, és az néhány cm magasságban lebeg az alsó fölött.

Helyezzünk a csőbe további mágneshengereket, ügyelve arra, hogy a szomszédos hengerek rendre taszítsák egymást. Az egymás fölött lebegő mágnesek sorát a 4. ábra fotója mutatja. Megfigyelhető, sőt a fotón le is mérhető, hogy a mágnesek közti távolság változik: lentől fölfelé haladva egyre nő. Ezt az egyszerű kísérletet felhasználhatjuk a mágneses erőhatás távolságfüggésének meghatározására. Közelítésként tekintünk csak az első szomszédok közti kölcsönhatást, és tegyük fel, hogy valamennyi mágneshenger – súlyát és mágneses sajátosságait tekintve – hasonló. (Az általunk elvégzett és a fotón is bemutatott kísérletben használt mágneshengerek tömege 5,6 g.) Így a legalsó mágnes taszítóereje b_1 távolságban a fölötté lévő öt mágneshenger súlyát tartja. (A b_1 távolság a legalsó és

a fölötté lévő mágneshenger középpontjának távolsága.) A második mágnes felett négy mágnes lebeg, azaz a második mágnesről a harmadikra kifejtett tasztítóerő – h_2 távolság mellett – a négy henger súlyával egyenlő, és így tovább. A fotón végzett mérések alapján a mágneses kölcsönhatás távolságfüggését a 4. ábra grafikonjai mutatják. A lebegő mágnessor közvetlen mért értékeit feltüntető b) grafikon alig mutat eltérést a fentebb leírt igényesebb mérés eredményétől. (Ez empirikusan igazolja, hogy a lebegő mágnesek leírására az elsőszomszéd-kölcsönhatás elfogadható közelítés.) A c) grafikon a logaritmált mérési adatokra illesztett egyenest mutatja. Meredeksége, azaz a kölcsönhatás távolságfüggvényének kitevője $-3,84 \approx -4$.

Lejtőn guruló kerámiamágnes mint iránytű

Egy síkfelületű rajztábla egyik oldalát feltámasztva készítsünk enyhe lejtőt, majd egy kerámiamágnes-korongot helyezünk a lejtő tetejére és hagyjuk legurulni. A mágnes rendszerint nem egyenesen gurul, hanem az esésvonaltól oldalirányban elgömbülő pályán (5. ábra). Jelöljük meg a korong egyik oldallapját kicsi szigetelőszalaggal, és ismételjük meg a kísérletet kétszer, először a korong megjelölt lapja a lejtő egyik, azután a másik oldala felé álljon. A két, megismételt, kísérlet során a korong pályája ellentétes irányban gömbül.

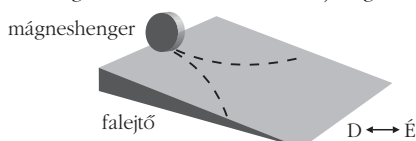
Magyarázat: a korong mágneses dipólus, amelynek pólusai (a gyártási eljárásból adódóan) a tengely irányában állnak. A guruló mágnesre az iránytűhöz hasonlóan hat a Föld mágneses tere. A dipólusra ható forgatónyomaték hatására a mágneskorong elfordul. Ha a korongot átfordítva a mágneses pólusokat megcseréljük, az eltérülés iránya is ellentétesé válik. Az effektus adott mágnes esetén a lejtő irányításától is függ, a legerősebb forgatóhatást É–D tájolású lejtő esetén kapjuk, míg K–Ny esésirányú lejtőn nincs effektus.

A kísérlet alkalmas arra, hogy a diákok számára kísérleti feladatként kiadjuk, kitűzve például az É–D irány meghatározását, vagy akár a mágnespogácsa pólusainak beazonosítását.

A Föld viszonylag gyenge mágneses tere csak a guruló mágnes képes elforgatni. A jelenség a tapadási súrlódási erővel magyarázható. Ez ugyanis a ható erők irányával ellentétes irányban hat. A sík felületen, palástján álló mágneskorong befordulását az É–D irányba a henger és a talaj érintkezési vonalán ható tapadási súrlódás megakadályozza. Gördüléskor a tapadási súrlódás a mozgás irányával ellentétes irányban hat, így nem akadályozza a gyenge forgatóhatást.

Megjegyzés: a kísérlet bemutatására a mágneses táblán használt úgynevezett applikációs kerámiamágneskorongok a legalkalmasabbak.

5. ábra. A Föld mágneses terének kimutatása lejtőn guruló mágnessel



Örvényáramok fékező hatása a mozgó mágnesre

Mágnesrúd fékezett esése alumíniumcsőben

2–3 neodymmágnes-hengert összetapasztva „készítsünk” erős mágnesrudat. A mágnesrudat ejtsük be a mágnesek átmérőjénél kicsit nagyobb belméretű alumíniumcsőbe (mi 8 mm átmérőjű mágnesrúddal és 10 mm-es üregátmérőjű, 1,5 m hosszú alumíniumcsővel kísérleteztünk.)

A csőbe ejtett mágnes meglepően hosszú, néhány másodpercnyi idő alatt esik keresztül a csövön. Ismételjük meg a kísérletet a mágneshez hasonló méretű farudacskával is. A farúd a mágnesnél sokkal rövidebb idő alatt átesik a csövön. A különbség még szembetűnőbb, ha két hasonló csőbe egyszerre ejtjük bele a farudat és a mágnes.

Magyarázat: A csőben eső mágnes a fém csőfalban örvényáramokat indukál. Ezek mágneses tere Lentz törvénye szerint kölcsönhat a mágnessel, és fékezi az esését. A csőbe ejtett fahenger esetén ilyen fékező hatás nincs, a rúd mozgása gyakorlatilag szabadesés.

Alumínium alapon guruló mágneskorong fékeződése

Gurítsunk erős neodymmágnes vízszintes asztalpon, a mágneskorong egyenes irányban szabadon gördül, sebességéből csak lassan veszít. Ismételjük meg a kísérletet 3–4 mm vastag, vízszintes alumíniumfelületen. A fémen guruló mágnes mozgása gyorsan lefékeződik. A jelenség a Lentz-törvénnyel magyarázható. A guruló mágnes mágneses tér veszi körül, ez a mágneses tér a korong alatti fém anyagára is kiterjed. Ahogy a mágnes új területre gördül, az alátétül szolgáló fémben helyről helyre változik a mágneses tér. Ez a fémben feszültséget indukál és köráramokat kelt. A guruló mágnes előtt a mágneses tér erősödik, mögötte gyengül. A köráramok mágneses tere mindkét változást akadályozza, azaz a mágnes előtt visszatartó, a mágnes mögött visszahúzó erőt okoz, a kettő együtt fékezi a mágnes haladó mozgását.

A köráramok kialakulásához szükség van az alátétfémmé vastagságára, a kísérlet vékony fémlapra nem sikerül.

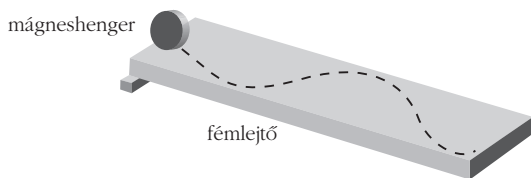
Neodymmágnes-korong gördülése lejtő alumíniumfelületen

Vizsgáljuk meg mi történik, ha az előzőekben leírtak közül két kísérletet kombinálunk. Készítsünk enyhe lejtőt 4–5 cm széles, legalább 3–4 mm vastag, sík felületű alumíniumból (a célnak jól megfelel színesfémboltokban beszerezhető alumínium zártszelvény). A 4–5 fokos meredekségű lejtőn gurítsuk le az erős neodymmágnes-korongot.

Először irányítsuk úgy mágnesünket, hogy az a lejtő közepén, esésirányban guruljon. Megfelelő dőlésszög és pontos indítás esetén a mágnes irányváltoztatás és látható fékeződés nélkül gurul le a lejtőn.

A jelenség az előző két kísérlet tapasztalataival látszólag ellentétes. Felvetődik a kérdés, hogy az alumínium alap fékező hatása, illetve a guruló mágnes a lejtő esésirányából kitérítő „iránytűhatás” most miért nem tapasztalható?

Magyarázzuk először azt, hogy miért nem változik a földmágnesség hatására a gördülés pályája. A Föld természetesen most is hat a mágnesre, de az irányváltoztatás ellen azonnal fellép az örvényáramok erősebb hatása, és ez nem engedi a mágnes elfordulását.



6. ábra. Az aszimmetrikus örvényáramok kimutatása

Miért nem fékezik az örvényáramok a mágnes mozgását? Természetesen fékezik, de ezt a hatást a gravitációs gyorsulás lejtő menti összetevője ellensúlyozza. Ez egyszerűen ellenőrizhető a lejtő meredekségének változtatásával.

Ismételjük meg a kísérletet az optimális hajlású lejtővel úgy, hogy a mágnest ferdén, a lejtő esési irányától kicsit eltérve indítjuk. A mágnes először ferdén a lejtő széle felé gurul, de mielőtt odaérne és leesne a lejtőről elfordul, és a lejtő közepe felé veszi az irányt. Átgurul a túlsó oldalra, ahonnan ismét visszafordul stb. A mágnes hullámvonalú pályán gurul le a lejtőn (6. ábra).

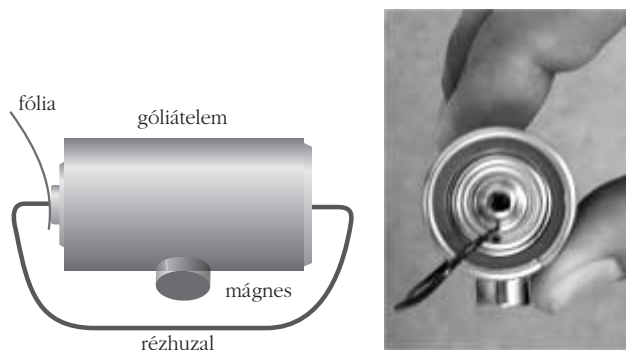
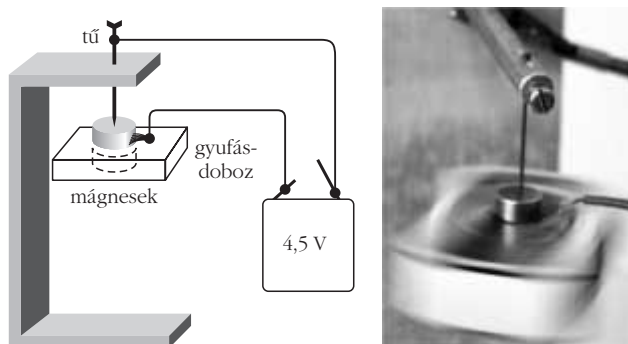
A látványos jelenség magyarázatát ismét az örvényáramok mágneses hatása adja. A fém széléhez közelítve az örvényáramok kialakulása (és ezért fékező hatása is) aszimmetrikussá válik. Ez a hatás akadályozza meg, hogy a mágneskorong leguruljon a lejtő szélén, és ez fordítja vissza a korongot.

Oersted kísérlete másképpen

Az áramjárta vezető és a mágnes kölcsönhatása góliát-elem, neodymmágnes és körülbelül 15 cm hosszú, 1–0,5 mm átmérőjű rézdróttal egyszerű szabadkézi kísérletként (akár tanuló-kísérletként is) bemutatható.

A rézhuzalt hajlítjuk meg a 7.a ábrán látható D alakú kengyellé úgy, hogy a huzal két behajlított végének távolsága néhány milliméterrel kisebb legyen, mint a góliát-elem hossza. A hengeres elem palástját borító lemezborításra tapasszunk fel egy neodymmágnest, majd a meghajlított rézdrótot kis rugalmas deformációval húzzuk rá a telep két pólusára úgy, hogy a telep negatív pólusa és a drót vége közé csúsztassunk be egy darabka szigetelő írszövetű fóliát. A drótkengyel megszorul a telepen, de ez nem akadályozza a szabad elfordulását. Tartsuk vízszintesen az elemet úgy, hogy a palástra tapasztott mágneshenger alulra kerüljön, és a még szigetelt kengyelt a saját súlya a mágnes alá fordítsa. Húzzuk ki a telep és a drót végét elszigetelő fóliát – a kengyel kilendül a függőleges síkból (7.b ábra).

8. ábra. Egyszerű motor



7. ábra. Oersted-kísérlet

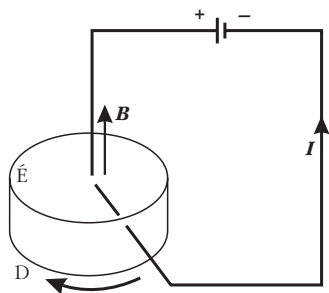
A kengyel látványos felemelkedését a drótban folyó erős (rövidzárási) áram és a mágnes terének kölcsönhatása okozza. Fordítsuk meg a mágnes polaritását. A kengyel elfordulásának iránya ellentétesé válik.

Egyszerű elektromotor

Az erős neodymmágnes még egy lefelé tartott acéltű hegyén is megtartja saját súlyát. A motor forgórésze maga a mágneshenger, a tű, amelyen függeszkedik, a csapágy. Csatlakoztassuk a tűt egy friss laposelem egyik pólusához, míg a másik pólusra kapcsolt vezetékét érintsük finoman a mágneshenger palástjához. (A finom érintkezést vékony szálabból sodrott rézhuzallal biztosíthatjuk, ha a vékony rézszálakat „seprűszerűen” kibontjuk.) Jó érintkezés esetén a mágnespogácsa gyors forgásba jön a tű hegyén. Ha a mágnest megfordítjuk vagy a telep polaritását változtatjuk, a forgás iránya is változik. Látványosabbá, jobban megfigyelhetővé tehetjük a forgást, ha a forgó mágnes alá egy üres gyufásdobozt rögzítünk, ami együtt forog a mágnessel. A gyufásdoboz a legegyszerűbb motor

9. ábra. Még egyszerűbb motor





10. ábra. A motor működésének elve

szerűbben egy másik mágnessel rögzíthető. A második mágnezt beletesszük a dobozba, és a papírfalon keresztül rátapasztjuk a forgórészként szolgáló mágnezt. A kísérleti összeállítást a 8. ábra (rajz és fotó) mutatja.

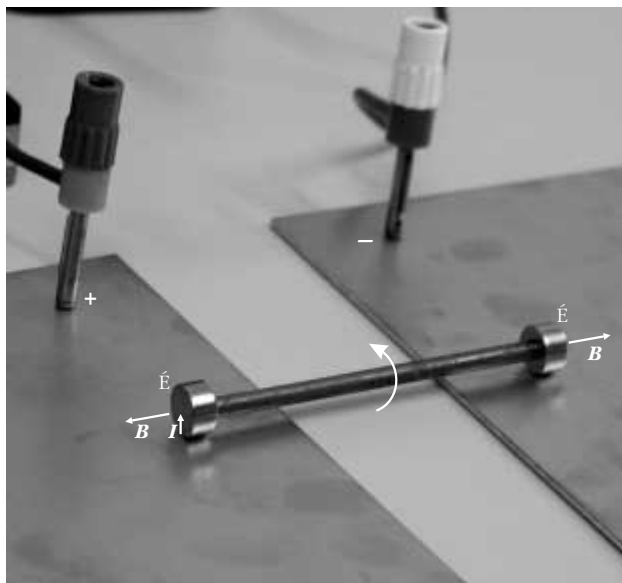
Talán még látványosabb a 9. ábrán látható kísérleti összeállítás. A mágnezt egy acél facsavar fejére tapasztjuk, majd a mágnessé vált csavart hegyével egy friss góliátelem egyik pólusára függesztjük. A mágnehenger szélét és az elem másik pólusát vezetékkel összekötjük. Megfelelő érintkezés esetén a mágnes, a rátapadt csavarral együtt gyors forgásba jön.

A motor működése az áramra mágneses térben ható erővel egyszerűen értelmezhető. Ezt segíti a 10. ábra vázlatos rajza. A konvencionális áramirány a telep pozitív pólusától a vezetékeken át a negatív pólusba mutat. Mivel a mágnehenger vezet, az áram sugárirányú, a tű tengelytől a palást érintkezési pontjába folyik. A jobbkézsabály értelmében az áramra ható erő a tengelyirányú mágneses indukcióvektorra és az áram irányára egyaránt merőleges. Ennek az erőnek a forgatónyomatéka forgatja a mágnezt.

Mágneskereken guruló, „önjáró” tengely

Néhány cm hosszú, 3–4 mm vastag acélrúd két végére tapasszunk egy-egy neodymmágnes-hengert. Ügyeljünk rá, hogy a két mágnes ugyanazon pólusával forduljon a tengely felé (így a mágnesek taszítják ugyan egymást, de nagyobb távolságuk miatt ez a taszítás jóval kisebb, mint a mágnesek és a vas közti vonzás). Ha a mágnehengert koncentrikusan tapasztottuk az összekötőrúdra, a tengely a mágneskereken könnyedén gördülhet. Helyezzük a

12. ábra. A motor fordítottja, a generátor



11. ábra. Az „önjáró” tengely és működésének elve

kerekeket egymástól szigetelt két vízszintes és párhuzamos fémsínrre, vagy két rézborítású nyomtatott áramköri panelre (11. ábra). A két fémfelületet egy pillanatkapcsoló beiktatásával kapcsoljuk zsebtelep két pólusára.

A kapcsoló zárásakor a tengely a mágneskereken gurulni kezd. A telep polaritásának megcserélésével a gurulás iránya is megfordul.

A jelenség magyarázatát ismét az áramra mágneses térben ható erő adja. A telep áramköre a sínekkel érintkező, fémesen vezető mágneskereken és az acéltengelyen keresztül záródik. Az áramra mágneses térben ható erő nyomatéka mindkét mágneskeréken azonos, ezért a tengely elgördül.

Egyszerű generátor

Kipróbáltan működő, de érzékeny mérőműszert és gondos összeállítást kívánó kísérlet a következő: Függőlegesen befogott, változtatható fordulatszámú fűrógépbe rögzítsünk 2–3 mm vastag acélrudacskát, és függesztünk erre neodymmágnes-hengert. A fűrógéppel a mágnes változtatható fordulatszámmal forgatható. Érzékeny mV-mérő egyik bemenetét csatlakoztassuk a fűrógépbe fogott acélrúdhhoz, a másik végét vékony, hajlékony vezetékhez. Ezt érintsük finoman a forgatott henger széléhez. A műszer feszültséget jelez, a feszültség a fordulatszám növelésekor növekszik (12. ábra).

A jelenség a mozgási indukcióval magyarázható. A koronggal együtt forgatott szabad elektronokra a mágneses tér erőhatást gyakorol. A mágneses erő hatására bekövetkező töltésátrendeződés miatt elektromos feszültség mérhető a forgatott henger palástja és tengelye közt.

Irodalom

- M. GORE – The Physics Teacher 43 (2005) 248
 H.J. SCHLICHTING, C. UCKE – Physik in unserer Zeit 35 (2004) 272–273
 W. DINDORF – The Physics Teacher 43 (2005) 51
 S. STEWART – The Physics Teacher 44 (2006) 245
 HRASKÓ P. – Fizikai Szemle 52/8 (2002) 232–238
 NORIHIRO SUGIMOTO, HIDEO KAWADA – The Physics Teacher 44 313 (2006)