

ÖVEGES JÓZSEF

**Kísérletezzünk
és gondolkodjunk!**

Aranyhal Könyvkiadó

TARTALOM

KÉREM, OLVASSA EL	19
I. AZ ERŐ ÉS A TESTEK TEHETETLENSÉGE. MOZGÁSOK	22
Néhány feltűnő kísérlet a tehetetlenségre	22
Gyufásdoboz a papírlapon	22
A pohár és az egyforintos	23
Pénz a papírtornyon	24
Pohár az asztalon	25
Melyik zsineg szakad el?	25
Meglepő kísérlet a pörgő tojással	27
Nyers tojás, főtt tojás	27
A továbbgördülő ceruza	28
Miért esünk el?	29
Meglepő kísérletek pénzdarabokkal az erő közvetítésére	31
A rugalmas pénzdarab	31
Az erőközvetítő sorozat	32
Az erők párosával lépnek fel — Hatás-ellenhatás	34
Kísérlet a hatás-ellenhatásra	34
A két borotvapenge	35
Kísérletek a rakétaelvre	36
Felfedezzük az általános törvényt	37
A szénsavas patron mint rakéta	38

A rugalmas ütközés	39
Kísérletek ütköző pénzdarabokkal vagy gombokkal — Az egyik áll	39
Szemközt csúszó pénzdarabok vagy gombok	40
A neutronok lelassítása az atomreaktorban	42
A „gondolkodó” pénzsorozat (gombsorozat)	43
Kísérletek az idővel	46
Mennyi egy másodperc?	46
Zsebórával távolságot mérünk	47
Az ember mint óra. Kinek pontosabb az időérzéke? — Versenyjáték	48
Pontos-e az óránk?	49
Kísérletek az órával	52
Kísérletek a mozgások köréből	54
A nehéz vagy a könnyű szán csúszik-e sebesebben a domb- oldalán?	54
Egyforma sebességgel esnek-e a különböző súlyú testek? ..	56
Van-e időnk ellépni a zuhanó tetőcserép alól?	57
Kerékpárosok, gépkocsizók — figyelem!	59
Meglepő kísérlet — a mozgások függetlenségének elve ...	61
Milyen magasra dobtunk?	62
Van-e súlya az eső testnek? — A súlytalanság állapota kísérletekben	64
Munka — Munkavégző képesség — Energia — Munkasiker ..	66
Hány lóerősek vagyunk? — Jólétünk alapja: az energia ..	66
Mennyibe kerül a gépi munka és az emberi izommunka? ..	67
Mégmérjük munkateljesítményünket rövid ideig tartó mun- kában	67
Munkateljesítményünk hosszabb idő alatt	70

A forgómozgás	73
A körbeforgatott tele pohár	73
A külön pörgettyű	74
A forgómozgás mint stabilizátor — A siklómozgást végző korong és pörgettyű	75
Mindig sarkcsillag marad-e a Sarkcsillag?	77
Jo-jo kabátgombból	79
Kísérletek cérnaorsóval	80
Magyarázó kísérlet az elforduló koronggal	81
Miért rövidebb a tél, mint a nyár?	83
A farkát csóváló kutya és az ingó óra	84
Így bizonyították be, hogy a Föld forog	86
Az energiamegmaradás elvének bizonyítása ingával	87
Kísérletek a súlypontra	88
Ami senkinek se sikerül	88
Ami mindenkinek sikerül	89
Ezt sem lehetne elhinni	90
Kísérletek a súrlódásra	91
Egy meglepő felfedezés	91
A gördülő súrlódás meglepően csekély	92
Köznap tapasztalat egyszerű kísérletekben. — Mozgás közben kisebb a súrlódás	92
Mégmérjük a súrlódási együtthatót	93
II. GÁZOK ÉS FOLYADÉKOK	95
Kísérletek az áramló levegővel	95
Biztosan megnyerhető fogadások	95
Szét nem fújható papírlapok	96
Így mérhetjük a nyomáscsökkenés nagyságát	98
Életveszély!	100

Különös röppálya	101
A Magnus-hatás	103
A csavart labda és a befőttesüveg	104
Miért táncol a labda a lég- és a vízsugáron? Fújással lebegtetjük a labdát	106
Miért marad lebegve a labda?	108
Gyönyörű kísérletek — tudóink helyett porszívóval	108
Kísérletek a közegellenállásra	110
A lebegő lapok	110
A gyufa tengelyű pörgő papírkorong	110
Hogyan függ a közegellenállás nagysága a mozgó test sebes- ségétől? — Miért nehéz széllel szemben kerékpározni?..	112
Fajsúly és sűrűség	113
Régi tojás, friss tojás	113
A tojások kor szerinti osztályozása sós vízzel	114
A vízben lebegő tojás és a léghajó	115
Láthatóvá tesszük a láthatatlan	116
Levegő töltésű lebegő szappanbuborék	117
Mennyi a pálinka alkoholtartalma?	118
Az eszköz készítése	118
A sűrűség mérése	120
Sűrűségből alkoholtartalmat	121
Valóban 40%-os a barackpálinka?	121
A felhajtóerő alkalmazása: seprűnyélből levélmérleg	122
A víz mint gyertyatartó	123
A bűvár	124
A legegyszerűbb megoldás: a cucli	126
Nem keveredő folyadékok — a víz és a petróleum hely- cseréje	126
Bűvészmutatvány két pohárral	127
Különböző sűrűségű, egymással keveredő színes folya- dékok egymásra rétegzése	129

A fő kísérlet: vörösbor és víz	130
Hasonló jelenségek a természetben	131
Kísérletek az ozmózisra. Az anyag „lyukacsos”	132
A vízgőz és a kartonpapír	132
Gyertyát fújunk el téglán át	132
A meghizlalt tojás — Egy lehetetlennek látszó feladat ...	133
Kivonjuk a vizet a tojásból	135
Kísérletek a felületi feszültségre	136
A kifeszülő cérnaszál	136
A gyertya eloltása	136
Játék a borotvapengével	137
A vízen úszó pénzdarabok	138
Feljön-e a víz alól?	139
A szétfutó gyufaszálak	140
Szappanmotoros csónak	140
III. HANGTANI KÍSÉRLETEK	143
Hangvisszaverődés	143
A hangárnyék	143
A hangvisszaverődés merőleges beeséskor	143
Kísérlet a lyukacsos falú „hangcsővel”	145
A hangvisszaverődés ferde beeséskor	147
Fényszóró — hanggal	147
Konzervdoboz és a hangvisszaverődés	149
A magasabb hangokat rövidebb úton nyeli el a levegő ...	150
Még meglepőbb kísérlet a magas hangok elnyelésére	151
Hanghoz hangot adunk és — csend lesz	152
A hang mint hullám	153
Mégmérjük a hang hullámhosszát	153
Mégmérjük a hang terjedési sebességét	155

Megmérjük a „d” hang rezgésszámát	156
Hányas rezgésszámú hangon beszélünk?	156
A hang és oktávja	157
Tenyerünk mint érzékeny rezgésjelző	158
Hangok kiválasztása egy hangegyvelegből rezonanciával..	160
Bebizonyítjuk, hogy a mindennapos csendben mindenfajta hang jelen van	161
Kimutatjuk a felhangokat	161
Rövidebb síp magasabb hangot ad	163
A zenélő levelezőlap	163
Melyik fülünkkel hallunk jobban?	164
A közeledő síp hangja magasabb	164
Hanglebegések előállítása	166
A hang terjedése	168
Télen messzebbre hallatszik a hang, mint nyáron	168
Ha nem próbáljuk meg, talán el sem hisszük	170
Egy pénzdarab jól vezeti a hangot	171
Halászok beszélgetnek	172
A hanghullámok tapadnak a görbe felülethez is	173
IV. HŐTANI KÍSÉRLETEK	174
Az anyagok hőtágulása	174
Egy gyufaszál melege kiterjeszti a drótot	174
A hőtágulás legegyszerűbb kimutatása: a csóka	176
A kitáguló drót csengőt szólaltat meg (villanylámpát kapcsol be)	177
Miért reped meg a melegített üvegedény?	178
A folyadékok kitágulása	179
A levegő hőkítágulása	180
Igen érzékeny hőmérséklet-mutató	181

A hó terjedése	182
Ki bírja tovább?	182
Egyszerű kísérletek a hővezetésre	183
Látjuk a különböző hővezető képességet	184
Vízforralás papírtasakban	185
Amikor nem gyullad meg a selyempapír	185
A meleg levegő felfelé áramlik	186
Két egyszerű kísérlet a hőszugárzásra	187
A kertészeti üvegházak és fóliasátrak titka kísérletekben	189
Hűtőkeverék	190
A levegő nedvessége	191
Mennyi nedvesség van a levegőben?	191
A szalmaszálas nedvességmérő	193
A hajszálas nedvességmérő	194
A bélhúros nedvességmérő	194
Ködöt keltünk — ásványvizes palackban	195
Ködöt keltünk — közönséges palackban	196
Gomolygó köd a palackban — köd a nagyvárosok felett	197
Percekig forraljuk a vizet láng nélkül	199
Hatásfokot mérünk	200
Milyen hatásfokú a spirituszfőzőnk?	200
Mégmérjük az elektromos főzőlap hatásfokát.	202
A hatásfok és az edény anyaga	203
A hatásfok és az edény alapterülete	204
Lökdősdő molekulák — alumínium szemecskék táncolnak a vízben	205
V. KÍSÉRLETEZZÜNK A FÉNNYEL	210
Mérjük a fényerősséget	210
Sötétkamra készítése	212

A fényvisszaverődés	213
Hogyan verődik vissza a fény az üveglapról?	213
Milyen messze jelenik meg a kép a tükör mögött?	214
Tanulságos kísérlet az ablakkal	215
Milyen vastag a tükörüveg?	216
Láthatóvá tesszük a visszavert fény útját.	216
Érzékeny „földrengés”-jelző	218
Sima felületek fényvisszaverő képessége	218
Hat-hét kép a tükörben	220
Amit nem tanítanak az iskolában	222
A fénytörés	224
Láthatóvá tesszük a megtört fény útját	225
Egyszerű kísérletek a fénytörésre	225
Játékos kísérletek a fénytörésre	228
A látszólag felemelkedett pénzdarab	228
Hogyan törik meg a vízből kijövő fénynyaláb?	229
A teljes fényvisszaverődés	230
Egy meglepő jelenség — a teljes visszaverődés	230
A vízfelszín mint teljesen visszaverő tükör	232
Déliab a vizespohárban	233
A színekre bomlás jelenségei	236
A színtelen fényt színekre bontjuk	236
A szivárvány színeit fehér fénné egyesítjük	238
Meglepetés a színszűrés körül	239
A színek összetétele	240
A fénytalálkozás (interferencia) jelenségei	241
Olajfolt a vízen	241
Két üveglemezzel bebizonyítjuk a fény hullámtermészetét	243

Nagyítólencse, nagyítás, képalkotás	245
Egy üveg víz mint gyűjtőlencse	245
Egy pohár víz mint nagyítólencse	246
Hány dioptriás a szemüvegünk?	248
Az egyszerű nagyító nagyításának mérése	249
Képvetítés domború lencsével	251
Szűkebb lencsenyílás — tisztább kép	253
A lencse mint tükör	254
Ilyen egyszerű a messzelátó	255
A messzelátó nagyítása	256
Milyen fényerejű a messzelátó?	258
A homorú lencse fókusztávolságának mérése	259
Tükrös messzelátó szemüvegből	260
Tükrös messzelátó borotválkozótükörből és gyűjtőlencséből	260
Egy igazi tükrös távcső	262
Érdeemes megpróbálni — vizespohárból messzelátó	264
Így működik a mikroszkóp	265
Miben különbözik a gyárilag előállított mikroszkóp kísérleti összeállításunktól?	267
Hogyan mérhetjük meg a mikroszkóp nagyítását?	269
Hogyan állapíthatjuk meg a kezünkbe került mikroszkóp jóságát?	270
Kísérletek a látásra	271
Mikor szükséges a szemüveg?	271
A vakfolt kimutatása	272
Valóban nagyobb a nyugvó-kelő Hold korongja?	273
A forgó korong	274
Ujjunk mint térlátó eszköz	275
Rajzoljunk egyszerű térhatású képeket	277
Így könnyű a térlátás	279
Szemünk felbontóképessége	280
Gyakorlati vonatkozások	282

Látási csalódások és érdekességek: hal a medencében	284
Eltűnik a pénz az asztalról	285
Amikor egyesül az elválasztott	286
Ha leszűkítjük szemünk látólyukát — tisztább a kép	286
Látás egy szemmel	287
Sötét környezetben fényesebbnek látszik ugyanaz a fényesség	287
Három látási csalódás	288
Kísérletek az igen rövid időközök szemléltetésére	289
A reszelő és a tű	289
Mozgó tárgy a villanylámpa fényében	290
Egy meglepő mérés	292
Kísérletek a ködfénylámpa villogó fényével	293
Mennyi idő alatt fordul egyet a korong?	294
Mekkora az a legkisebb fordulatszám, amely szükséges pörgettyűnk stabilitásához?	296
Mennyi ideig sötét a ködfénylámpa?	297
Hány volton alszik ki a lámpa?	298
Bevont felületű-e a fénycső?	298
VI. KÍSÉRLETEK A MÁGNESSÉGRE	300
A vízen úszó iránytű	300
Készítsünk függő mágnesűt	302
Tűhegyen forgó iránytű	303
A mágneses erő áthatolása különböző anyagokon	304
A mágneses erő vonalait láthatóvá tesszük	305
Hogyan lesz mágneses a nem mágneses vasdarab?	306
Lehetetlen egysarkú mágnes készíteni	307
A mágneses megosztás	308
A rázkódás hatása a mágnesre	309
A melegítés gyengíti a mágneset	310

VII. KÍSÉRLETEZZÜNK ELEKTRONOKKAL — ELEKTROMOSSÁGGAL	311
Elektromozás dörzsöléssel	311
Mindenütt elektromosság	311
A fésűelektroszkóp	311
Az elektromos állapot	313
A kétféle elektromos állapot	313
A dörzsölt fa elektromos	316
Az elektromos alma és kenyér	317
A megdörzsölt fém is elektromos	318
Mindig pozitív? Negatív?	319
Elektronnal magyarázzuk a tényeket	321
Az elektronok mozgása az anyagokban	324
Elektrontartály konzervdobozból	324
Összegyűjtjük az elektronokat	326
Jó vezető — rossz vezető	327
Az üveg vezeti az elektromosságot?	329
Vezetővé tesszük a levegőt — A lángionizáció	330
Ionok a levegőben	330
Az elektromos erők áthatolása az anyagokon	332
Az elektromos megosztás (influenca)	335
A villám szele	335
Új módon adunk töltést	336
Megosztás két dobozzal	337
Két szórakoztató elektromos játék	340
A csókolózó kisbaba	340
Az elektromos harangjáték	343
Néhány érdekes elektromos kísérlet	346
Sztaniollemez a konzervdobozon	346
Az elektronok a vezető külső felületén helyezkednek el ...	347

Megmérjük a töltésvesztés sebességét	349
Bebizonyítjuk, hogy az ionok rövidebb ideig élnek, mint egy másodperc	349
A radioaktív sugárzás által okozott ionizáció	352
Egy tájékoztató mérés	352
Amit mindenki elvégezhet	353
A villámhárító	354
A csúcshatás	354
Miért kell mozgatni a fésűt a csúc előtt?	356
Felesleges a külön csúc	357
Szikra a konzervdobozból	357
A kétlemezes elektroszkóp	359
Töltésmérő hulladékból	360
A billegés és magyarázata	362
A mérés elve	363
Kísérletek a legegyszerűbben	364
Egy ismert kísérlet — új formában	367
Egy nehéz kísérlet — bámulatosan egyszerűen	370
Miért ad néha elektromos ütetést az autóbusz és a trolibusz?	371
Mikor távozik el több elektron a konzervdobozból?	372
Egy dörzsölés vagy több dörzsölés ad nagyobb töltést a fésűnek?	374
Szórakoztató mérések az anyagok elektromos ellenállására	374
Milyen gyors a doboz, a fésű töltésvezetése?	376
A csúc hatása számbelileg	377
Ez már majdnem varázslat	379
Ionokkal és elektronokkal fényjelenségeket keltünk	380
Villámok a villanykörtében	380
Az atomok fénykibocsátása	384
Elmó tüze a villanykörtében	386

VIII. KÍSÉRLETEK AZ ELEKTROMOS ÁRAMMAL	389
Kísérletek a mikrofonnal	389
Mikrofon percek alatt	389
Hanggal pislogtatjuk a zseblámpaizzót	389
Tanulságos tapasztalat	390
Telefonálunk egyszerű mikrofonunkkal	391
Házi rádióstúdió	392
Áramvezetés	393
Vezeti-e a tiszta víz az elektromos áramot?	393
A sós víz és az elektromos áram	393
Mi történik a konyhasó oldásakor?	394
Könnyen szabályozzuk az áram erősségét	396
Az áram kémiai hatása	396
Rézbevonatot készítünk	396
A réziszap kiválasztása	398
Vízből hidrogén- és oxigéngázt állítunk elő	399
Láthatóvá tesszük az ionok vándorlását	399
Pirosan ír a tompa hegyű szeg	401
Gázakkumulátort készítünk	402
Készítünk áramjelzőt	404
Még érzékenyebb lengőtűs áramjelző	406
Hőből elektromos áram	408
A gyertyaláng elektromos áramot kelt	408
Munkavégzésből elektromos áram	410
Mágneset mozgatunk — áram keletkezik	410

KÉREM, OLVASSA EL...

Napjainkban a természettudomány óriás léptekkel halad előre. Egyre boldogabb, gazdagabb életet teremt az emberi tudás alkalmazása. Általános műveltségünkben egyre nagyobb részt kér a természettudományos műveltség. Nagy számban jelennek meg kitűnő ismeretterjesztő művek. De gyökértelen az írás, a szó nyomán szerzett tudás, ha hiányzik az alap: a szemlélet, a tapasztalat.

Közismert, hogy a mesterséges holdak hordozórakétája, miközben közelebb kerül a Földhöz, sebesebben kering, mint maga a mesterséges hold. — Tanultuk, hogy a Föld napközben sebesebben mozog, mint amikor távolabb van a Naptól. Ez a két jelenség lényegében ugyanaz. De ki látta már ezt a jelenséget kísérletben? Ki tudná otthon pillanatok alatt előállítani?

A fizika legérdekesebb jelensége az, hogy az anyagok legkisebb részecskéi, a molekulák, az atomok állandó mozgásban vannak. Közben összeütköznek, lökdösik egymást. — Látta már ezt? — Nem kell hozzá drága mikroszkóp, és mindenki otthon, az asztalon, egy pohár vízben bemutatathatja, hogyan nyüzögnek, villognak, mint fénylő csillagok, a láthatatlan vízmolekulák által lökdösött alumínium festék szemecskéi.

Felejthetetlen látvány!

A radioaktív sugárzás, a levegő ionizálása, a ködkamra ma már közönséges fogalmak. Kísérletezett már ionokkal? Mért már radioaktivitást? Keltett már ködöt? — Egyáltalában, látott már hasonló kísérleteket?

Bárki otthonában, egyetlen fillér kiadás nélkül kelthet ionokat, sőt még élettartamukat is megmérheti; kimutathat radioaktív sugárzást.

Mennyire másként hatnak ránk ezek a jelenségek és egyéb felfedezések, ha magunk előállíthatjuk őket, ha saját tapasztalatainkhoz tudjuk fűzni a rájuk vonatkozó részletesebb ismereteket, az új világot teremtő alkalmazásokat.

Ne gondoljuk, hogy az első tekintetre bonyolultnak és elvontnak látszó jelenségek előidézésére, első tanulmányozására műszerekre van szükség. A természetnek nincs elektromozó gépe, mégis villámokat állít elő, nincsenek polaroid lemezei, mégis sarkított fényt szór mindenfelé.

Utánozzuk mi is a természetet. Műszerek, gyári készülékek nélkül, a háztartásban kéznél levő anyagok, eszközök felhasználásával állítunk elő, értünk meg jelenségeket, törvényszerűségeket.

Erre tanít a könyv mintegy 500 fizikai kísérlete. Egyaránt szólnak a felnőttekhez és ifjakhoz, az egyetemet végzettekhez és az általános iskolai képzettségűekhez.

A kísérleteket bárki elvégezheti minden kézügyesség nélkül, bárki megértheti különös előképzettség nélkül. De minél többet tud már valaki, annál inkább gyönyörködteti a kísérletek szinte felülmúlhatatlan egyszerűsége és a bennük megnyilvánuló jelenségek nagyszerűsége.

Nincs a könyvben egyetlen kísérlet sem, amit ki ne próbáltam volna. Biztosan sikerülnek. Gyönyörködtetők és érdekesek. Némelyik kísérletből több maradandó tudást szerzünk, mint egy egész könyv elolvasásából. Meglepő gyakorlati alkalmazásokat értünk meg.

A kísérletekkel kapcsolatban közölt számadatok valódiak, céljuk a tájékoztatás. Természetes, hogy ha más az eszköz, mások a körülmények, az adatok is változnak.

A kísérletezést a könyv bármely részén elkezdhetjük, nem kell az elejétől sorjában haladni. Végezzük azt a kísérletet, amelyik legjobban felkelti érdeklődésünket, vagy amelyikhez kéznél van minden szükséges, például a cipőkrémes doboz, a gyertya, a sztaniol, a fésű a csokoládzó kisbabához.

Ötszáz helyett ötezer kísérletet is közölhettem volna. Csak a legértékesebbeket és a legegyszerűbben elvégezhetőket foglaltam össze.

Hiszem, hogy az olvasó arra a meggyőződésre jut, hogy a megismerés és az átélt tudás szépsége felér a legmagasabb művészi élménnyel, de nemcsak gyönyörködtet, hanem segít a természet erőinek megismerésében és felhasználásában, jövőnk építésében is.

Mennyire szerettem volna én is kísérletezni, amikor még nem állt laboratórium a rendelkezésemre! De nem volt sem könyv, sem ember, sem iskola, hogy megtanított volna rá.

A Szerző

*

A szerző kívánságára meghagytuk az első kiadásban használt mértékegységeket.

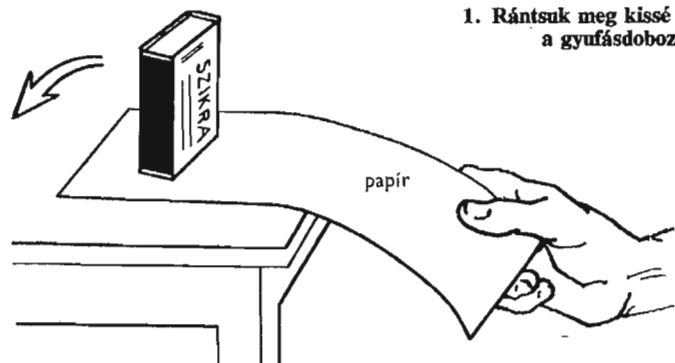
A Kiadó

I. AZ ERŐ ÉS A TESTEK TEHETETLENSÉGE. MOZGÁSOK

Néhány feltűnő kísérlet a tehetetlenségre

Gyufásdoboz a papírlapon

Kísérlet (1. ábra). Gyufásdobozt állítsunk legkisebb oldalára egy papírlapon.



- Húzzuk lassan a papírlapot. — A doboz a lappal együtt mozog.
- Rántjuk meg kissé a papírlapot. — A doboz hanyatt esik. Mi is esünk a hirtelen induló járműben.
- Rántjuk meg a papírlapot vízszintes irányban olyan erővel, ahogyan csak tudjuk. — A doboz a helyén marad.
- Ha a dobozt ráragasztanánk a papírlapra, a doboz mind a három esetben együtt mozogna a papírlappal.

Gondolkozzunk: miért mozgott együtt a doboz lassú húzásakor a papírlappal? — Miért esett hanyatt hirtelenebb húzásakor? — Miért

maradt a helyén, amikor teljes erőnkől kirántottuk alóla a papírlapot?

Ahhoz, hogy a gyufásdoboz (vagy bármely test) mozgásba jöjjön, **erőnek kell rá hatnia**. Ha lassan akarjuk mozgásba hozni, kis erő is elegendő. Minél hirtelenebbül akarjuk mozgásba hozni, annál nagyobb erő szükséges.

Mi volt kísérleteinkben a mozgatóerő?

A doboz papírlapon áll, súrlódik a papírlaphoz. Lassú indításkor ez a kis súrlódási erő is elegendő a doboz mozgásához.

De ha hirtelen akarjuk a dobozt mozgásba hozni, ehhez nagyobb erő szükséges, mint amekkorával a doboz a papírlaphoz súrlódik. Az erő esetleg elég ahhoz, hogy a doboz alsó részét mozgásba hozza, de a felső részére már nem tud hatni. Az alsó rész elmozdul, a felső rész hátramarad, a doboz hanyatt esik. (Ha hirtelen induló autóbuszban, villamosban nem akarunk elesni, akkor fogódzkodnunk kell, hogy ne csak a padlóhoz tapadó lábunkra hasson a mozgatóerő, hanem testünk felső részére is.)

Ha pedig hirtelen rántjuk meg a papírlapot, ha nagyon hirtelen akarjuk mozgásba hozni a dobozt, akkor a súrlódási erő még a doboz alsó részének gyors mozgásba hozásához sem elegendő — a doboz a helyén marad.

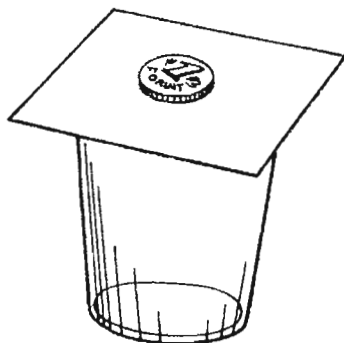
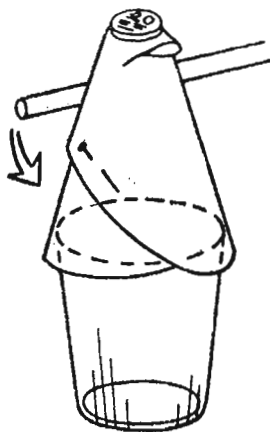
Milyen változást jelent az, ha a dobozt a papírlaphoz ragasztjuk? — Ekkor sokkal erősebb az összeköttetés a doboz és a papírlap között, mint amikor csak súrlódik a doboz a papírlaphoz. Ezért a papírlap nagyobb erővel hat a dobozra, a doboz akkor is mozgásba jön, ha hirtelen rántjuk meg a papírlapot.

Most már meg tudjuk magyarázni a következő kísérleteket is.

A pohár és az egyforintos

Kísérlet (2. ábra). Fedjünk le egy poharat keményebb papírral, például levelezőlappal. Tegyük erre a pohár nyílása fölé egy egyforintos pénzdarabot. Ujjunkkal pöcköljük meg a papírlapot, hogy hirtelen lerepüljön a pohárról — a pénzdarab beleesik a pohárba.

2. Pöcköljük meg a kemény papírlapot, hogy leröpüljön a pohárról. A pénzdarab a pohárba esik



3. Mérjük oldalról erős ütést a papírtölcsérre, a pénzdarab a pohárba esik

Pénz a papírtornyon

Kísérlet (3. ábra). Újságpapírt vagy ívpapírt tekerjünk tölcsér alakúra. Tűzzük össze gombostűvel. Állítsuk a tölcsért vizespohárra, a tölcsér vízszintesre lapított csúcsára pedig fektessünk pénzdarabot. Valaki tartsa kezével szilárdan a poharat. Mi pedig egy pálcával mérjük erős ütést oldalról a papírtölcsérre. — Az ütés ereje elsodorja a papírtölcsért, de a pénzdarab a helyén marad, és beleesik a pohárba.

A pénzdarabnak mindkét kísérletben roppant gyorsan kellett volna mozgásba jönnie. Ehhez azonban az lett volna szükséges, hogy a levelezőlap, illetve a papírtölcsér igen nagy erővel hasson a pénzdarabra vagy a pohárra. — Kísérleteinkben azonban csak a súrlódási erővel hatottak a pénzre, a pohárra. Ez az erő nem volt elegendő ahhoz, hogy az ütés vagy a rántás pillanatnyi ideje alatt a pénz vagy a pohár olyan gyors mozgásba jöhessen, mint a papír — ezért csak igen kevéssé mozdultak el, szinte a helyükön maradtak.

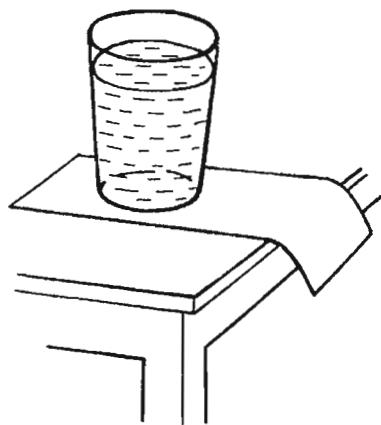
Pohár az asztalon

Kísérlet. Tegyük vízzel telt poharat az asztal szélére. A pohár alatt papírlap legyen. Rántsuk ki a papírlapot nagyon hirtelen a pohár alól vízszintes irányban — a pohár mozdulatlanul a helyén marad (4. ábra).

Kísérletünkben használjunk alumínium, bádóg- vagy műanyag poharat, hogy kárt ne okozzunk, ha esetleg leesik. Pohár helyett más tárgyat is választhatunk (radírgumi, kavics). Az a fontos, hogy a papírt hirtelen és erőlesen rántsuk meg.

Mielőtt a mutatványt a csupasz asztallap szélén a törékeny és értékesebb tárgyakon bemutatnánk, ajánlatos előbb kevésbé törékeny és nem is egészen az asztal szélére tett tárgyakon begyakorolni.

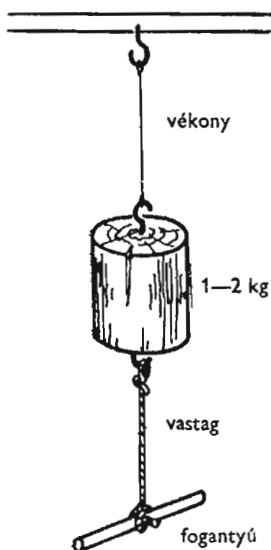
Ha vízzel telt pohárral jól megy a kísérlet, üres pohárral is megpróbálhatjuk. Ez nehezebb!



4. Ha a papírlapot a pohár alól hirtelen vízszintes irányban kirántjuk, a pohár mozdulatlanul a helyén marad

Melyik zsinag szakad el?

Kísérlet. Az ajtókilincstre vagy az ajtófélfába vert szögre (esetleg faágra) kössünk fel vékony zsinagen 1-2 kg-os fadarabot. A fadarab másik végéhez erősítsünk ugyanabból a zsinagból font 5-10 ágú



5. Ha a fogantyút lassan húzzuk meg, akkor a felső, vékony zsineg szakad el. — Ha teljes erőből hirtelen megrántjuk, akkor a vastag zsineg szakad el

(végeredményben 5-10-szer erősebb) zsinetet. Az alsó zsineghez kössünk fogantyút (egy fadarabot), hogy jó erősen megmarkolhassuk (5. ábra).

a) A fogantyúnál fogva húzzuk meg lassan az alsó zsinetet — a felső zsineg szakad el.

b) Rántjuk meg teljes erőnkkel, hirtelen az alsó zsinetet — az 5-10-szeres vastagságú alsó zsineg fog elszakadni.

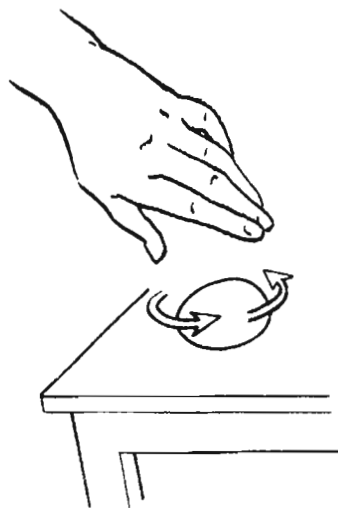
Ha erősek vagyunk és roppant hirtelen, nagy erővel rántjuk meg a fogantyút, akkor még a hozzákötött vastag csomagkötöző spárga is előbb elszakad, mint a felső, vékony, befőttes üveg kötözésére használatos zsineg. Hogyan lehetséges ez?

A magyarázat egyszerű.

a) Ha lassan húzzuk az alsó zsinetet, a zsineg erőt közvetít a fadarabhoz, a fadarab lassú mozgásba jön — elszakad a felső zsineg.

b) Ha a fogantyút nagy erővel rántjuk meg, a fadarabnak hirtelen kellene igen gyors mozgásba jönnie, de ehhez hatalmas erőnek kellene a fadarabra hatni. — Erős rántással talán létre is hozzuk ezt az erőt — de az alsó, vastag zsineg gyenge ahhoz, hogy ezt a fatuskóhoz közvetítse, s ezért elszakad. A fa pedig nem mozdul el annyira, hogy a felső zsineg elszakadjon. (Ha jó erős láncot kötnénk a fatuskóhoz — ez elég erős lenne az erő közvetítéséhez, a fatuskó elmozdulna, és a felső, vékony zsineg szakadna el.)

6. Pörgessük meg a nyers tojást, azután egy pillanatra állítsuk meg. Ha kezünket elvesszük, a tojás tovább forog



Meglepő kísérlet a pörgő tojással

Tegyünk asztallapra vagy tányérba egy nyers tojást. A tojás az oldalán fekszik. Fogjuk meg hüvelyk- és mutatóujjunkkal, és pörgessük meg (6. ábra).

Ezután érintsük meg kezünkkel a gyorsan forgó tojást, és állítsuk meg egy pillanatra — de utána gyorsan vegyük el kezünket. Csodálkozva látjuk,

hogy a tojás, amely érintéskor megállt, kezünk elvétele után újra forogni kezd. Sima lapon még további 10-20 fordulatot is megtesz.

Nyers tojás, főtt tojás

Két tojás szükséges hozzá. Az egyik legyen keményre főtt, a másik nyers. — Kívülről semmi sem árulja el, hogy melyik a nyers, melyik a főtt.

Hogyan lehet megállapítani azt, hogy melyik a nyers és melyik a főtt tojás, anélkül hogy feltörnénk őket? Rázni sem szabad, hogy a kotyogásról állapítsuk meg, melyik a nyers.

Mit kell tennünk? — Könnyű kitalálni.

Mindkét tojással elvégezzük a pörgető kísérletet. Amelyik tojás az érintés után is tovább pörög, az a nyers. A főtt tojás a megállítás után nem mozog tovább.

A jelenség magyarázata: amikor a tojást megpörgettük, mozgásba jött a belseje is. — Ha a tojást megérintjük egy pillanatra, de úgy, hogy

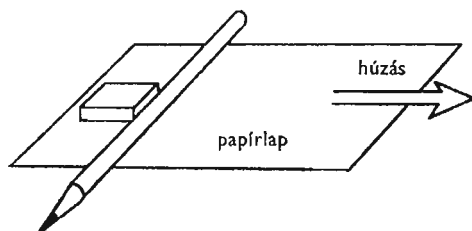
a héja teljesen nyugalomba jöjjön, akkor a **nyers tojás** folyékony belseje még tovább is mozgásban marad, és ha a tojást elengedjük, továbbviszi, pörgeti a tojást.

A **főtt tojás** belseje nem folyékony, hanem összefüggő, kemény egész. Amikor megállítjuk a tojást, nemcsak a héja áll meg, hanem a héjjal szoros összefüggésben levő kemény belső része is. Ezért nem pörög tovább a főtt tojás.

A továbbgördülő ceruza

Tegyük sima papírlapra egy hengeres (nem szögletes) ceruzát. A ceruza háta mögé tegyük valamit, például egy radírt. Ezután húzzuk meg a papírlapot, majd hirtelen engedjük el. A ceruza nem áll meg a papírlappal együtt, hanem vígan továbbgördül (7. ábra).

A vonat, a villamos hirtelen megállásakor, fékezésekor elesünk, testünk haladni akar a mozgás irányában.



7. Húzzuk lassan a papírlapot, és hirtelen szüntessük meg a húzást. A ceruza tovább mozog a húzás irányában

Mi ennek az oka?

Előző kísérletsorozatunkban azt tapasztaltuk, hogy a nyugalomban levő testek maguktól nem jönnek mozgásba, hanem egy másik testnek kell rájuk hatni; erőnek kell hatnia, hogy nyugalmi állapotuk megváltozzék.

Ez szinte természetesnek tűnik.

De egyáltalán nem ilyen magától értetődő az, hogy a **mozgó test nem áll meg azonnal a mozgatóerő megszűnése után**. Hiszen ekkor már nem hat rá mozgatóerő, miért nem áll meg hát? — Miért állt meg azonnal a papírlap, és miért mozgott tovább a ceruza?

Láttuk, hogy valamely test csak akkor jöhet mozgásba, ha erő hat rá. Azt mondjuk erre, hogy **a testek egymagukban tehetetlenek**. De **a test mindig tehetetlen**, akkor is, ha mozog. Tehát **a mozgását is meg akarja tartani**. Ha tehát a mozgó testet meg akarjuk állítani, akkor is erőnek kell rá hatnia, amely erőt egy másik test fejt ki rá. — Így például kísérletünkben a mozgásban levő papírlapot is meg a ceruzát is az állította meg, hogy súrlódtak ahhoz a felülethez, amelyen mozgottak.

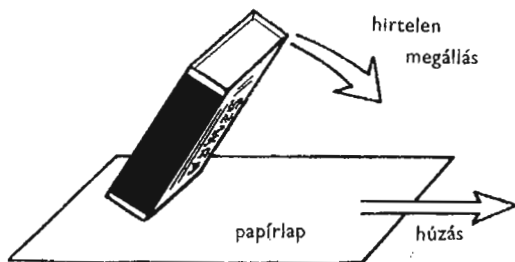
Miért nem állt meg **azonnal** a ceruza is? Mert attól a pillanattól kezdve, hogy a húzást, a mozgatóerőt megszüntettük, a ceruzára kisebb akadályozóerő hatott, mint a papírlapra. A papírlap **csúszott** az asztallapon, a ceruza **gördült** a papírlapon. A csúszást akadályozó súrlódás sokkal nagyobb, mint a gördülést akadályozó. Ezért állt meg előbb a papírlap.

A testek tehetetlenségének ezt az elvét **Galilei** (1564—1642) mondta ki.

Newton (1642—1727) pedig azt fejezte ki világosan, hogy ha egy testet hirtelen akarunk mozgásba hozni, akkor egy másik testnek igen nagy erővel kell rá hatnia — annál nagyobb erővel, minél rövidebb idő alatt szeretnénk mozgásba hozni a testet.

Miért esünk el?

Kísérlet. Egy papírlapra állítsunk gyufásdobozt. Húzzuk egyre sebesebben a papírlapot — majd hirtelen hagyjuk abba a húzást. A gyufásdoboz előrebukik (8. ábra). A kísérlet magyarázata a követ-



8. Ha a mozgásban levő papírlap hirtelen megáll, a gyufásdoboz előrebukik

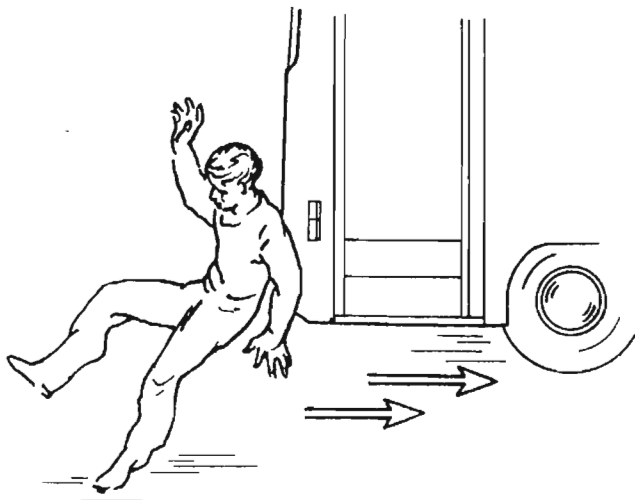
kező: amikor a papírlap mozgása megszűnt, a doboz — tehetetlensége miatt — eredeti irányát megtartva, tovább akart mozogni. A doboz alját a papírlap súrlódással megfogta, és a doboz alja meg is állt. De a doboz felső részére nem hatott akadályozóerő, továbbhaladt, előrebukott.

Most már könnyű a fizika nyelvén megmagyarázni jó néhány jól ismert jelenséget, amelyeket annyira megszoktunk, hogy nem tartjuk érdemesnek elgondolkozni rajtuk.

1. Miért ömlik ki a tányérból a leves, ha hirtelen elmozdítjuk a tányért? (9. ábra).



9. Ha hirtelen elmozdítjuk a tányért, kiömlik belőle a leves



10. Ha a mozgó járműről lelépünk, lábunkat a talajon a súrlódási erő megfogja. De felsőtestünk tehetetlenségénél fogva a jármű sebességével halad tovább: a mozgás irányába bukunk. — Ha a mozgásiránynak háttal lépünk le a járműről, hanyatt esünk, ami gyakran halálos balesetet okoz

A leves nincs szilárd összeköttetésben a tányérral. A tányér mozgása közben nem gyakorol akkora erőt a levesre, hogy a leves is elmozduljon a tányérral együtt.

2. Miért vágódunk el (mégpedig a haladás irányában), ha leugrunk a sebesen haladó járműről? (10. ábra).

A leugrás pillanatában egész testünk olyan sebesen mozog, mint a jármű. Amikor a lábunk a földre ér, a föld a súrlódási erőnél fogva megfogja a lábunkat, megakadályozza mozgásában. Felsőtestünket semmi sem akadályozza, tehát meglevő sebességét megtartja, a jármű haladásának irányába bukik.

3. Miért dőlnek le földrengéskor elsősorban a kémények, a tornyok, ezek csúcsáról pedig a gömb vagy a szélkakas?

Földrengéskor a magas építmények alja hirtelen elmozdul. Ez értendő, hiszen szilárdan össze van építve a földdel.

A csúcsnak is el kellene mozdulnia az alappal együtt. Az ehhez szükséges erőt a torony felépítménye közvetíti a csúcshoz. Egy acél-torony ki is bírja ezt az erőt, és elmozdul az egész építmény. De a téglából épített torony (kémény) esetleg előbb eltörik, mielőtt a csúcs gyors elmozdításához szükséges nagy erőt ki tudná fejteni.

Meglepő kísérletek pénzdarabokkal az erő közvetítésére

A rugalmas pénzdarab

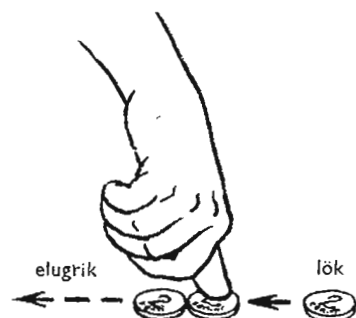
Kísérlet. Szorítsunk erősen hüvelykujjunkkal az asztalhoz egy pénzdarabot, például húszfillérest. A leszorított pénzdarab mellé tegyünk egy másikat, amely **érjen hozzá az elsőhöz (11. ábra).**

A másik oldalról lökjünk egy harmadik húszfillérest a leszorított-hoz. Ügyeljünk arra, hogy a három pénzdarab középpontja egy egyenesben legyen (a következő kísérletekben is).

Azt látjuk, hogy az ütközés után a másik oldalon érintkező húszfilléres tovarepül.

Egyenesen meglepő, hogy milyen messzire lökődik a másik oldalon levő pénzdarab a sima asztallapon.

Bármily erősen szorítjuk is le hüvelykujjunkkal a húszfillérest, úgy hogy egy parányit se mozdulhasson el, a kísérlet mégis kitűnően sikerül.



11. Ha a leszorított pénzdarabhoz egy másikat hozzálökünk, a leszorított mellett levő pénzdarab messzire elugrik

Az erőközvetítő sorozat

Kísérlet. Rakjunk le egymás mellé több azonos pénzdarabot (kétforintosokat, húszfilléreseket) úgy, hogy érintkezzenek és középpontjuk egy egyenesben legyen. Az utolsót szorítsuk le erősen ujjunkkal, és lökjünk neki a másik oldalról egy pénzdarabot. (Ezeket a kísérleteket azonos nagyságú kabátgombokkal is elvégezhetjük.)

Két jelenséget veszünk észre:

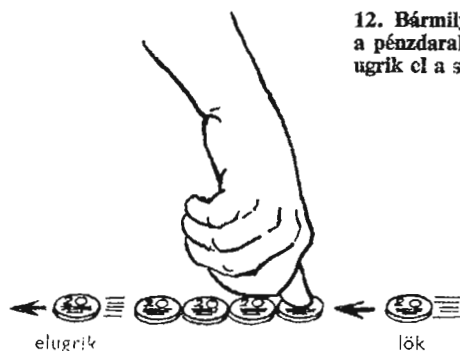
- a) a sorozatban az utolsó pénzdarab megint messzire elugrik.
- b) akármilyen erősen lökjük is a pénzdarabot, mindig csak egy darab lökődik el a sor végétől (12. ábra).

Ezzel a második észrevételünkkel később foglalkozunk. Egyelőre csak az érdekel bennünket, hogy egész sor esetén is odébbrepült az utolsó pénzdarab.

Miért? — Az első pénzdarab lökését a többi közvetítette az utolsóhoz. Mindegyik odébbmozdult egy kicsit, és így természetesen ellökték az utolsót.

Kérdés azonban, hogy az a pénzdarab, amelyet szorosan lefogtunk, hogyan tudta a lökést továbbítani?

12. Bármilyen erősen lökjük is a sor végéhez a pénzdarabot, mindig csak egyetlen pénzdarab ugrik el a sor másik végéről

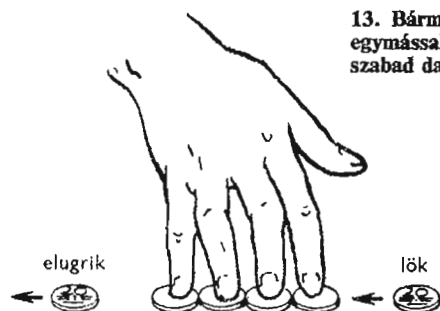


Az is úgy adta tovább, mint a többi. Úgy képzelhetjük el, hogy a lefogott pénzdarab sok apró részecskéből áll. Ezek a részecskék érintkeznek egymással. A nekiütődő pénzdarab meglöki ezt a részecske-sorozatot. A lökést átadják egymásnak, végül az érintkező pénzdarabnak, éppen úgy, mint az érintkező pénzdarabok sorozata.

Akkor is elrepül a sorban az utolsó szabad érme, ha mind a négy ujjunkkal leszorítva tartunk egy-egy érmét és egyet nekilökünk a sornak (13. ábra). Bőrünk engedi a részecskéket elmozdulni a lökés irányában.

A levegőben is részecskékről részecskékre terjed például a megütött dob bőrének rezgése. Az utolsó levegőrészecske meglöki fülünk dobhártyáját. Részecskéről részecskére terjed a hang a megütött vasúti sínben is.

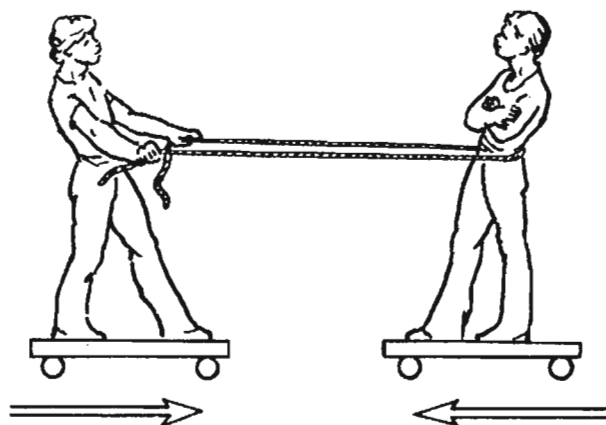
13. Bármilyen erősen szorítjuk is le a közbenső, egymással érintkező pénzdarabokat, az utolsó, szabad darab akkor is elugrik



Az erők párosával lépnek fel — Hatás-ellenhatás

Kísérlet a hatás-ellenhatásra

Szükségünk van két deszkadarabra és hengeres rudakra, például seprűnyéldarabokra. A seprűnyéldarabokat a deszkadarabok alá tesszük. Azután mindkét deszkadarabra feláll valaki. Az egyik személy derekán kötelet vetünk át. A másik személy a kötéllal maga felé igyekszik húzni az elsőt (14. ábra).



14. Ha az egyik személy a másikat maga felé húzza, ő is elmozdul a másik felé

Mit veszünk észre?

Azt, hogy egyiknek sem sikerül a másikat úgy maga felé húzni, hogy maga is el ne mozduljon a másik felé. Úgy látszik, mintha a másik is húzná őt.

Méréssel ki lehet mutatni, hogy amekkora erővel az egyik test húzza (vagy taszítja) a másikat, ugyanakkora erővel húzza (vagy taszítja) a másik test is az elsőt.

Ha egy test hat a másikra, a másik test ugyanakkora, de ellenkező irányú erővel visszahat az első testre.

Egyetlen erő hatása lehetetlenség. **Az erők mindig párosával jelentkeznek a természetben.** Az egyik hatóerővel szemben fellép az ugyanakkora, de ellenkező irányú **viSSzaható erő, a reakcióerő.**

A két borotvapenge

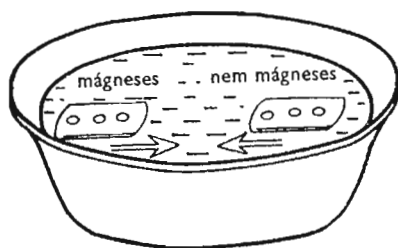
Kísérlet. Húzzunk végig néhányszor mágnes egyik sarkával egy elhasznált borotvapengén. A penge mágneses lesz.

Fektessük a mágneses pengét lapjával egy tányérban levő víz felszínére. A penge úszni fog a vízen. Ezután tőle néhány centiméter távolságban fektessünk a víz felszínére egy másik, **nem** mágneses pengét is.

Közönségesen azt mondják, hogy a mágnes vonzza a vasdarabot.

Azt várnánk tehát, hogy a **nem** mágneses penge úszni fog a mágneses felé, miközben a mágneses penge a helyén marad.

A kísérlet azonban azt mutatja, hogy **mindkét penge egymás felé úszik**, mégpedig szemmel láthatóan **ugyanakkora sebességgel** (15. ábra). Ebből az következik, hogy mindkét pengére ugyanakkora erő hat.



15. A vízre helyezett mágneses borotvapenge vonzza a másik, nem mágneses pengét

Amekkora erővel vonzza a mágneses penge a nem mágneses pengét, ugyanakkora erővel vonzza a nem mágneses penge is a mágneses pengét.

Tehát az első penge hatása a másodikra és ennek visszahatása az első pengére ugyanakkora.

Nem képzelhető el erő (hatás) ugyanakkora ellenerő (visszahatás) nélkül.

a) **Seprűnyéllel.** Álljunk fel megint a seprűnyélre helyezett deszkára. Vegyünk kezünkbe egy téglát, és dobjuk előre.

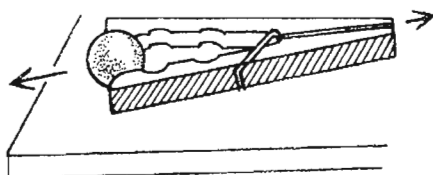
A deszka ellenkező irányban hátra fog gördülni alattunk.

Nemcsak mi löktük előre a téglát, a téglá is ugyanakkora erővel hátrafelé lökött bennünket.

b) **Hintával.** Ha hintán ülünk, és például egy téglát előredobunk, magunk ellenkező irányban lendülünk ki.

c) **Ruhacsipesszel.** Szükségünk van egy ruhacsipeszre, amivel a száradó ruhát szoktuk a szárítósineghez csíptetni, továbbá egy, legfeljebb 15 mm átmérőjű acélgolyóra vagy gesztenyeszemre.

Az acélgolyót (gesztenyeszemet) csípjük be a ruhacsipesz szájába úgy, hogy könnyen kicsúszhasson belőle. Azután tegyük az asztalra a csipeszt (16. ábra). Üssünk ceruzával (vagy pálcikával) a csipeszre. A csipesz kilöki a golyót, és a csipesz is, a golyó is messzire ellökődnek, egymással ellenkező irányban.

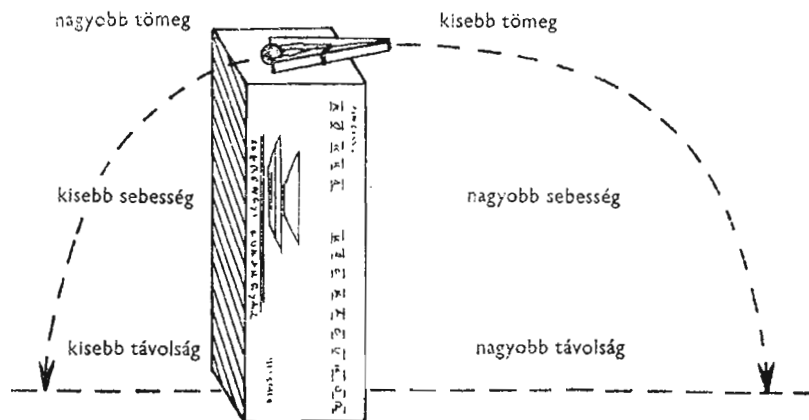


16. Ha a golyó kicsúszik a csipesz szájából és messzire gurul, ugyanakkor a csipesz is messzire csúszik az ellenkező irányban

Melyik repül messzebbre: a golyó vagy a csipesz?

Hatásosabb a kísérlet (és mérést is végezhetünk), ha a csipeszt a szájában levő golyóval együtt egy felállított doboz tetejére helyezzzük (17. ábra).

Végezzük el a kísérletet. A golyó is, a csipesz is vízszintes irányban repül el. Figyeljük meg, hol esnek az asztallapra (vagy a padlóra). Mérjük meg, hogy mekkora távolságra repül el vízszintes irányban a golyó és mekkora távolságra a csipesz. — Azt látjuk, hogy a kisebb súlyú (kisebb tömegű) messzebbre szállt. Ha a csipesz súlya kisebb, mint a golyó súlya, akkor a csipesz repül el messzebbre.



17. A nagyobb tömegű golyó kisebb sebességgel repül el — a kisebb tömegű csipesz pedig nagyobb sebességgel

Nehezítsük meg a csipeszt annyira, hogy ugyanakkora súlyú legyen, mint a golyó. A csipesz nehezebb lesz, ha például drótot tekercselünk a szárára, vagy vaslemez tőrőstünk rá. Mérleggel állapítsuk meg, hogy mikor lesz a csipesz és a golyó súlya egyenlő. — Végezzük el velük újra a kísérletet, és figyeljük meg, hogy milyen messzire repülnek.

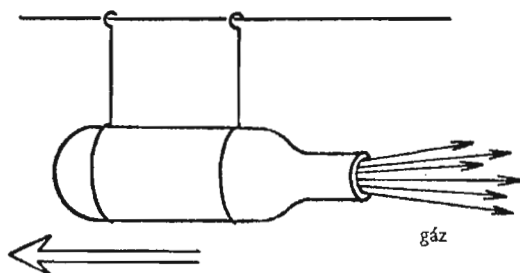
Ugyanolyan messzire repül mindegyik. Ez csak úgy lehetséges, hogy ugyanakkora erő hatott mindegyikre.

A hatóerő ugyanakkora, mint a visszaható erő.

Felfedezzük az általános törvényt

Mérjük meg mérlegen külön-külön a golyó és a csipesz súlyát. Mérjük meg azt is, hogy milyen messzire repülnek el. Azt találjuk (a mérési hibák határán belül), hogy a golyó súlya \times távolság = a csipesz súlya \times távolság.

Ha például egy nagyon pontosan elvégzett kísérletben a 6 gr súlyú csipesz 200 cm messzire repül, akkor a 12 gr súlyú golyó 100 cm messzire. A $6 \text{ gr} \times 200 \text{ cm}$ valóban annyi, mint $12 \text{ gr} \times 100 \text{ cm}$.



18. Az elcsúsztathatóan felfüggesztett szénsavas patron a gáz kiáramlásával ellenkező irányban repül

Mivel a vízszintes irányban elhajított és 2-szer, 3-szor messzebbre repülő test indulási sebessége is 2-szer, 3-szor nagyobb, képletünkbe a távolságok helyett a sebességeket is írhatjuk. Kísérletünkkel tehát igazolni tudjuk azt, hogy a hatás-visszahatás alkalmával a két különböző súlyú (tömegű) test akkora sebességet nyer, hogy

$$\text{egyik test tömege} \times \text{sebessége} = \text{a másik test tömege} \times \text{sebessége.}$$

A szénsavas patron mint rakéta

Kísérlet. Feszítsünk ki 3-5 m hosszú drótot. Egy szénsavas patronra erőítsünk két drótkampót (18. ábra), és függesszük a kifeszített drótra. Egyik kezünkkel fogjuk meg erősen a szénsavas patronot, és a végébe szúrunk lyukat (körzőheggyel vagy árral). Ebben a pillanatban engedjük el a patronot. A lyukon kiáramló szénsav visszaható ereje több méternyire elröpíti a dróton csúszó patronot, nagy sebességgel.

Rakétaautó. Akinek kezűgyessége van, könnyű kis kocsit készíthet. A szénsavas patron visszaható ereje sima padlón több méternyire löki el a kocsit.

Alkalmazások. Az e kísérletekben megismert rakétamozgások a hatás-ellenhatáson alapulnak. Hasonlóképpen mozognak a tűzijáték rakétái is. Alsó nyílásukon igen nagy sebességgel áramlanak ki az égés közben keletkező gőzök és égéstermékek. Ezek ellenhatása nagy erővel löki a magasba a rakétát.

Ugyanilyen elv alapján működnek a léglökéses repülőgépek motorjai és a különböző célokra szolgáló rakéták.

A rugalmas ütközés

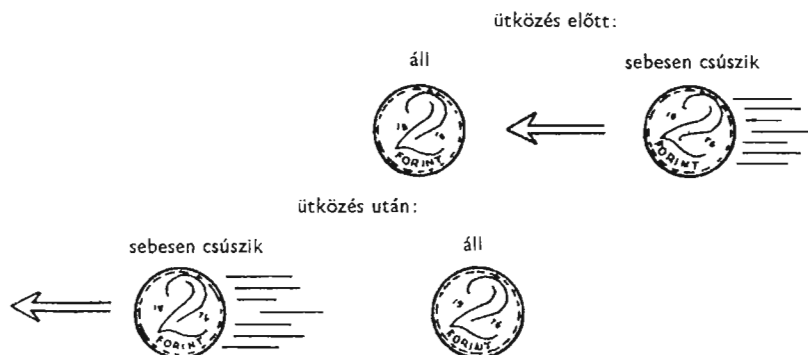
Kísérletek ütköző pénzdarabokkal vagy gombokkal — Az egyik áll

Fektessünk lapjára az asztalon egy kétforintost (vagy nagyobb gombot). Lökjünk neki egy másik kétforintost (vagy egy, az előbbivel egyenlő nagyságú gombot), de úgy, hogy a lökő pénzdarab a két pénzdarab (vagy gomb) középpontját összekötő egyenes irányában csússzék. (Középpontosan, centrálisan ütköznek.)

Azt várnánk, hogy az ütközés után szétugrik a két pénzdarab, egyik erre, a másik ellenkező irányban. De nem így történik. Meglepődve látjuk, hogy az ütő pénzdarab (vagy gomb) megáll, a megütött pedig továbbcsúszik (19. ábra).

Ezt a jelenséget jól megfigyelhetjük, ha az asztallapon vonalat húzunk krétával, és a nyugvó pénzdarabot úgy tesszük le, hogy a széle pontosan a vonalra essék. Az ütközés után — ha sikerül centrálisan ütköztetni — az ütő pénzdarab megáll a vonalon.

Hogyan magyarázható, hogy az ütő pénzdarab (vagy gomb) nem ugrik vissza, hanem megáll?



19. Az ütő pénzdarab megáll, a megütött átveszi az ütő pénzdarab sebességét

A magyarázat a hatás-ellenhatás elve alapján nagyon egyszerű: az ütő pénzdarab mozgása közben találkozik az állóval, s ezt saját mozgása irányában igyekszik továbbmozdítani, miközben erőt gyakorol rá. Emiatt mindkét pénzdarab összenyomódik (20. ábra), és az ütött el is indul az ütés irányában. De amekkora erővel az ütő nyomja, mozgatja az ütöttet, ugyanakkora erővel nyomja a megütött pénzdarab a saját mozgási irányával ellenkező irányban a még mozgó ütőt.



20. Ütközés közben mindkét pénzdarab rugalmasan összenyomódik

Egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú erők egyenlő tömegű testeken ugyanakkora, de ellenkező hatást okoznak. Ezért az ütő pénzdarabnak meg kell állnia, a megütöttnek pedig az ütő pénzdarab sebességével tovább kell repülnie.

Szemközt csúszó pénzdarabok vagy gombok

A sima asztallapon, jobb és bal kezünk mutatóujjával, sebesen csúsztassunk egymással szemközt két egyforma pénzdarabot, majd eresszük el őket (még az ütközés előtt!), hogy csúszásuk közben középpontosan egymásnak ütközzenek (21. ábra).

Próbáljuk meg, lehetséges-e úgy csúsztatni őket egymással szemben, hogy valamelyik megálljon az ütközés után?

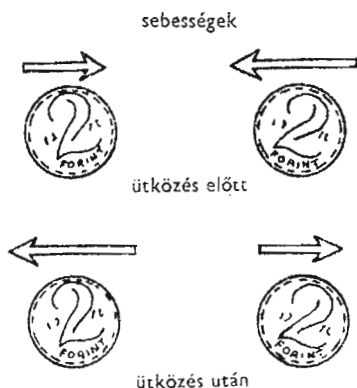
Bármennyit próbálkozunk is, ez sohasem sikerül, a szemközt csúszó pénzdarabok az ütközés után visszaugranak.

Figyeljük meg, hogy ütközés után melyik ugrik vissza nagyobb sebességgel, melyik csúszik messzebbre?

Nem az a pénzdarab ugrik vissza messzebbre az ütközés után, amelyik az ütközés előtt sebesebben mozgott, hanem ellenkezőleg, az, amelyik az ütközés előtt lassabban mozgott!

Jobb kezünk általában ügyesebb, és a jobb kézzel lökött pénzdarab rendszerint nagyobb sebességet nyer, mint a bal kézzel lökött. Ütközés után a bal kéz pénzdarabja ugrik messzebbre.

21. Az egymással szemben mozgó pénzdarabok az ütközés után sebességet cserélnek



A pontos törvény ez: **ütközés után az azonos nagyságú pénzdarabok (vagy azonos nagyságú gombok) sebességet cserélnek.** Például ha a jobb kézzel meglökött kétszer akkora sebességgel haladt ütközés előtt, mint a bal kézzel lökött, akkor ütközés után az utóbbi — a lassúbb — kétszer akkora sebességgel pattan vissza, mint az előbbi.

A **jelenség magyarázata:** tegyük fel, hogy a jobb oldali pénzdarab nagyobb sebességgel halad, mint a bal oldali. — Ütközéskor rugalmasan összenyomják egymást.

Melyik fog összenyomódás közben előbb megállni? Az, amelyik lassabban haladt, tehát a bal oldali. A jobb oldali ekkor még mozog, ezért ellenkező irányban kezdi tolni a rugalmasan belapult bal oldali pénzdarabot. Tehát a bal oldalnak már sebessége lesz ellenkező irányban akkor, amikor a jobb oldali megáll.

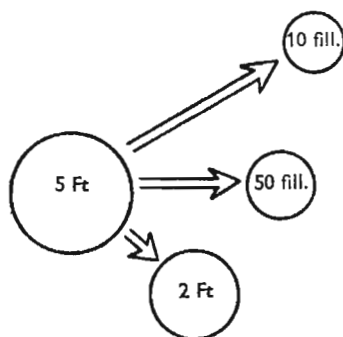
Ebben a pillanatban még mindkét pénzdarab rugalmasan belapult, és taszítja egymást ellenkező irányban, de ugyanakkora erővel. — Ez az erő egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú sebességet közöl mindegyikkel. Ámde a bal oldali pénzdarabnál ehhez a sebességhez hozzáadódik az a sebesség, amit előzőleg már kapott. Ezért ütközés után **nagyobb** lesz a sebessége, mint a jobb oldali pénzdarabé, amelynek az ütközés **előtt** volt nagyobb sebessége.

A neutronok lelassítása az atomreaktorban

Kísérlet. Tegyük le az asztallapra egy ötforintost. Kerületét jelöljük meg krétával, hogy ugyanarra a helyre tudjuk visszatenni.

Lökjünk az ötforintoshoz **középpontosan** egy kétforintost. Visszapattan. Jelöljük meg a visszapattant kétforintos helyét (22. ábra).

Ezután — lehetőleg ugyanakkora sebességgel — lökjünk ötvenfillérest, majd tízfillérest az ötforintoshoz.



22. Minél kisebb tömegű az ötforintosnak (a nagyobb pénzdarábnak) ütköző pénzdaráb, annál nagyobb sebességgel pattan vissza ütközés után

Azt látjuk, hogy az ötvenfilléres messzebbre ugrik vissza, mint a kétforintos, és legmesszebb ugrik a tízfilléres.

Kísérletünk azt bizonyítja, hogy **minél nagyobb különbség van az ütköző testek tömegei között, annál nagyobb sebességgel pattan vissza a kisebb tömegű ütő test, ha a megütött test nyugalomban van.**

Az ötforintos tömege 12 gr. A kétforintosé 5 gr. Az ötvenfilléresé 1,4 gr, a tízfilléresé 0,85 gr.

Egyik kísérletünkben például az ötforintostól a kétforintos 10 cm távolságra pattant vissza, a kisebb tömegű ötvenfilléres 30 cm-re, a még kisebb tömegű tízfilléres pedig 45 cm távolságra, ha nagyjából ugyanakkora sebességgel löktük őket középpontosan az ötforintoshoz.

Ennek a tapasztalatnak nagyon **fontos alkalmazása van az atomfizikában.** A széthasadó uránmagokból több ezer km/s sebességgel repülnek ki neutronok. Ezeket le kell lassítani, mert csak a lassú neutronok alkalmasak az uránmagok hasítására. — A neutronok

az uránatommagok között repülnek. Csakhogy az uránatom magja 238-szor nagyobb tömegű, mint az 1 tömegű neutron. A neutronhoz képest hatalmas tömegű uránmagról majdnem változatlan sebességgel pattan vissza a neutron. Ezért a neutron csak kismértékben veszít sebességéből, miközben egymás után nekiütközik az uránmagoknak.

De ha a neutron például az ugyanakkora tömegű hidrogénmagnak ütközik, akkor **egyetlen** ütközés közben is elveszítheti fele energiáját. — Ha pedig néhányszor nagyobb tömegű, de még mindig kis atom-súlyú atommagnak ütközik (például a 12-szer nagyobb tömegű szénatommagnak), akkor is mindegyik ütközés után jelentősen csökken a sebessége.

Ezért a neutronok útjába grafit- (szén-) hasábokat tesznek (vagy nehézvizet, amelyben nehézhidrogén-atomok vannak). A grafit- (vagy a nehézhidrogén-) atommagokba ütköző neutron már 10-20 ütközés után lelassul, és alkalmassá lesz további uránmagok hasítására.

A „gondolkodó” pénzsorozat (gombsorozat)

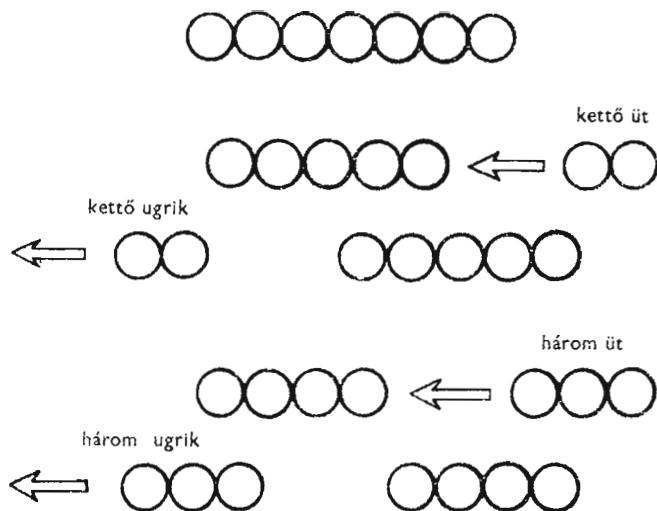
Fektessünk le a sima asztallapra 7 egyforma pénzdarabot egymás mellé, egy vonalban úgy, hogy érintkezzenek (23. ábra).

Egy előző kísérletben már láttuk, hogy ha csak **egy** pénzdarabot lökünk neki középpontosan az ugyanolyan darabokból álló sornak, akkor a sor másik végéről is **csak egy** pénzdarab fog továbbrepülni. Ezzel a kísérlettel azt szemléltettük, hogy a pénzdarabok (egy test részecskéi is) továbbadják a lökést.

1. Kísérlet. Toljunk el **két** pénzdarabot a sor végéről, és lökjük neki középpontosan a megmaradt sornak. (Ügyeljünk arra, hogy miközben a két pénzdarab nekiröpül a sor végének, csúszás közben is érintkezzenek egymással. Közép- és mutatóujjunkat szorítsuk mozgás közben a pénzdarabokra.)

Azt látjuk, hogy a sor másik végéről is **két** pénzdarab fog továbbrepülni.

Próbáljuk most a két pénzdarabot kisebb-nagyobb erővel lökni a sor végének.



23. Mintha gondolkodna a pénzdarabok sora

Azt látjuk, hogy **mindig** két pénzdarab repül tovább, hol nagyobb, hol kisebb távolságra.

Próbáljunk most csak **egy** pénzdarabot nekilökni a sor végének, kisebb-nagyobb erővel.

Egészen bizonyos, hogy a nagyobb sebességgel lökött **egyetlen** pénzdarabnak is van akkora lökőereje, mint a kisebb sebességgel meglökött **két** pénzdarabnak.

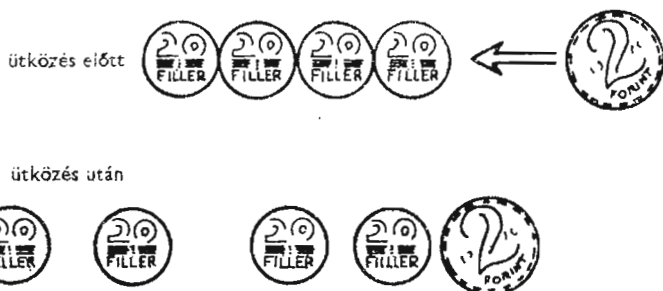
És mégis — bármily nagy erővel lökjük is a sorhoz az **egy** pénzdarabot — mindig csak **egy** fog tovarepülni a sor másik végéről, és sohasem kettő vagy három.

Akár kicsiny, akár nagy erővel lökünk is a sorhoz **két** pénzdarabot, mindig pontosan **két** pénzdarab repül tova a sor végéről, és sohasem egy vagy több.

2. Kísérlet. Toljunk el a sor végéről **három** darabot, és **együttesen** — úgy, hogy egymással érintkezzenek — lökjük őket **középpontosan** a nyugalomban levő sornak (mutató-, közép- és gyűrűsujjunkkal szorítsuk le és mozgassuk őket).

Akárhány pénzdarab van a nyugalomban levő sorban, mindig három repül tova a sor végéről együttesen, a többi nyugalomban marad.

Hiába próbálunk azonban egy kétforintost lökni a sor végéhez; sohasem tudjuk elérni, hogy három pénzdarab repüljön el szemmel láthatóan együtt, és a többi nyugalomban maradjon (24. ábra). Pedig a kétforintossal is megüthetjük olyan erővel a sor végét, mint három darab, a sorban szereplő pénzdarabbal (pl. húszfilléssel).



24. Ha az asztallapon fekvő pénzsor egy velük nem egyenlő nagyságú pénzdarabbal lökjük meg, akkor semmiféle szabályosságot sem tapasztalunk

Egyetlen pénzdarabbal is kifejthetünk akkora lökést, mint kettővel, hárommal vagy többel. — De a sor végéről mégis csak egy pénzdarab repül el (illetve annyi, ahánnyal löktünk). Hogyan tudja a sor vége, hogy a lökés hány pénzdarabtól származott? A kétforintossal is kifejthetünk akkora lökést, mint 3 húszfilléssel. Honnan tudja a sor bal vége, hogy most más nagyságú pénzdarab lökött?

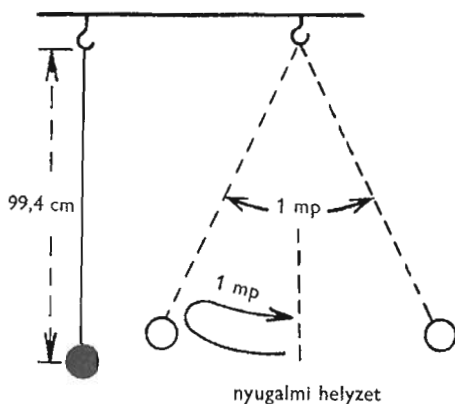
Egy kis mennyiségnyi számítással igazolni lehetne azt, hogy ez mind a természet két törvényéből: az energia megmaradásának és a mozgásmennyiség megmaradásának törvényéből következik.

Kísérletek az idővel

Mennyi egy másodperc?

1. Kísérlet. Óra nélkül is meglepő pontossággal előállíthatunk egy vagy több másodperces időközt. Szükséges hozzá valamiféle apróbb, súlyos test, például kis ólomgolyó (hálónehezék), csavaranya stb. Ezt cérnára kötjük és felfüggesztjük. A cérna olyan hosszú legyen, hogy a felfüggesztési ponttól a rákötött súlyocska közepéig mért távolság 99,4 cm legyen.

Az ilyen ingát fonálingának nevezzük (25. ábra). Lendítsük ki az ingát nyugalmi helyzetéből. Míg egyik szélső helyzetből a másik szélső helyzetbe jut el, ezalatt 1 s múlik el.

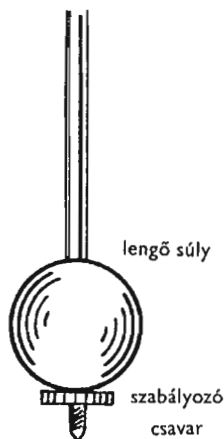


25. A fonálinga

Ennek pontosságát zsebóránk másodpercmutatója segítségével ellenőrizhetjük. Megmérjük, hogy 20-30 lengést összesen hány másodperc alatt végzett az inga, és ebből kiszámítjuk 1 lengés idejét. Például ha egy kísérletben 20 lengést 21 s alatt végzett az inga, akkor 1 lengés ideje $21 : 20 = 1,05$ s.

2. Kísérlet. Rövidítsük meg a fonalat úgy, hogy az inga hossza 24,8 cm legyen — azaz négyszer rövidebb, mint az előbb. Azt találjuk,

26. Ha a lengő súlyt feljebb emeljük a csavarral, az óra gyorsabban jár



hogy az inga kétszer gyorsabban leng. Tehát a **négyszer** rövidebb inga lengésideje **kétszer** kisebb.

Rövidítsük meg most az eredetileg kb. 1 m hosszú fonalat úgy, hogy az inga **kilencszer** rövidebb legyen, azaz 11 cm. — Azt találjuk, hogy most **háromszor** gyorsabban leng. Tehát a **ki-lencszer** rövidebb inga lengésideje **háromszor** rövidebb.

Az **órainga** lengésidejét az alsó végén levő eltolható súllyal lehet változtatni (26. ábra).

Ha az inga végén levő csavarral a súlyt kissé feljebb emeljük (rövidítjük az ingát), akkor az óra gyorsabban jár. — Ha a csavarral a súlyt kissé alább engedjük (hosszabbítjuk az ingát), akkor az óra lassabban jár.

Zsebórával távolságot mérünk

Nincs mérőszalagunk. Egy távolságot kellene lehetőleg pontosan megmérni. Van azonban nálunk egy zsebóra és zsinég. Ebben az esetben a távolság megmérése könnyen sikerül — körülbelül 1%-nyi pontossággal. Ekkora pontosság a mindennapi életben már kielégítő.

Hogyan járunk el? Talán már ki is találtuk. — Keresünk egy kisebb, súlyos tárgyat, például egy kavicsot, rákötjük a zsinegre, és felfüggesztjük. Készen van a fonálingánk. Mindaddig változtatjuk az inga hosszát, amíg lengésideje pontosan 1 s nem lesz.

Azt már tudjuk, hogy a másodpercinga hosszúsága 99,4 cm. A felfüggesztési pont távolsága az ingánk végéig tehát kb. 1 m. Ez a távolság legfeljebb 1 cm hibával megadja a méter hosszát. Ha egy hosszabb zsinéget ehhez mérünk, akkor akár 10 m hosszú, 1% pontosságú mérőzsinórt is készíthetünk.

Érdekes, hogy 1660 körül **Huygens** holland fizikus azt ajánlotta,

hogy az 1 s-ig lengő fonálinga hosszúságát válasszák hosszúságegységnek. Ez a Földön bárhol könnyen előállítható s mérhető.

Ez valóban jó gondolatnak látszott. De 1672-ben Richer francia csillagász áthajózott az Atlanti-óceánon, és egy ingaórát is vitt magával. Észrevette, hogy útközben megváltozott a különben pontos óra járása. Ebből, helyesen, arra következtetett, hogy ugyanannak az ingának más és más a lengésideje a Föld különböző pontjain.

Mivel a másodpercinga hossza a Föld különböző részein más és más, ezért nem alkalmas arra, hogy hosszúságegységül válasszuk.

Az ember mint óra. Kinek pontosabb az időérzéke? — Versenyjáték

A zenészek számára egy minden lengéskor egyet kettýentő inga — a metronóm — adja meg az ütemek időközét. De rendszerint csak a kezdők használják ezt az eszközt. Az embernek ugyanis természetes időérzéke, ütemérzéke van.

Nemcsak az ingaóra tud szabályosan, egyenlő időközökben egyet egyet kettýenni. Mi is tudunk például ceruzavéggel az asztalra koppantani szabályos időközökben, ütemesen, vagy pedig tudunk egyenlő időközökben számolni: egy, kettő, három, négy, és így tovább.

Természetesen nem minden emberben fejlődött ki egyformán az ütemérzék. Ütemezés közben egyszer csak sietni kezdünk, máskor meg késünk. De akadnak, akik meglepő pontossággal tartják be nagyszámú ütem közben is az egyenlő időközöket.

Élvezetes és tanulságos versenyt lehet rendezni több személy között (de magunkat is megvizsgálhatjuk) az ütemérzék fejlettségére nézve.

A vizsgálat így történik: tetszés szerinti ütemben, szabályos időközökben az asztalra koppantunk. Amikor úgy érezzük, hogy bejöttünk a szabályos koppantásokba, elkezdjük a számolást: három, kettő, egy, nulla, egy, kettő... Amikor azt mondjuk: nulla, akkor leolvastatjuk valakivel egy zsebóra másodpercmutatójának állását, és az állást az illető azonnal felírja. — Ha az ütemes számolásban 100-hoz érünk, a századik koppantáskor újra feljegyzi az illető a másodperc-

mutató állását. — Tovább számolunk 100-tól, de így: egy, kettő... újra 100-ig, és most is feljegyzi az illető a 100. koppantáskor a másodpercmutató állását.

Ha az időérzékünk olyan pontosan működne, mint az óra, akkor a 100 ütemből álló időközök szigorúan ugyanannyi másodpercig tartanának. Ez általában nincsen így. A második 100-as ütem sorozat ideje 1-2 s-mal eltér az első 100 ütem idejétől.

Az győz, akinél legkisebb ez az eltérés.

Íme egy mérés lefolyása és eredménye két személy (*A* és *B*) között:

A koppantások száma		A másodpercmutató állása		100 ütem ideje
<i>A</i>	0		10 s	
	100	1 min	10 s	60 s
	200	2 min	18 s	68 s
<i>B</i>	0		30 s	
	100	1 min	28 s	58 s
	200	2 min	24 s	56 s

A személy második 100-as sorozata 8 s-mal tért el az elsőől.

B személy második 100-as sorozata 2 s-mal tért el az elsőől.

Ezért *B* ütemmérzője jobb.

Természetesen a verseny feltételezi azt, hogy az, aki az időt méri, a hangosan számolt és lekoppantott 100. ütem végén pontosan olvassa le a másodpercmutató állását.

Pontos-e az óránk?

Az előző kísérletben azt állapítottuk meg, hogy az emberi szervezet mennyit téved rövid (például 100 ütemből álló) időközök mérésében.

Óránk feladata az, hogy a hosszabb időközöket, például egész napokat mindig ugyanannyinak mérjék. — Hogyan tudnánk másodpercre pontosan megmondani, hogy megfelel-e óránk a feladatának?

A legegyszerűbb módszer az, hogy napról napra figyeljük az időjelzést a rádióban, és a teljes órát jelző sípolás pillanatában leolvassuk az óramutató helyzetét (például reggel 7, du. 5, este 8 órakor ad a rádió időjelzést).

Ha például:

egyik nap óránk	7 h 1 min 25 s-ot mutat,
egy nap múlva	7 h 2 min 30 s-ot mutat,
két nap múlva	7 h 3 min 50 s-ot mutat,
három nap múlva	7 h 5 min 50 s-ot mutat,
négy nap múlva	7 h 7 min 30 s-ot mutat,
akkor óránk	
az első napon sietett	7 h 2 min 30 s—7 h 1 min 25 s = 65 s-ot,
a második napon	
- sietett	7 h 3 min 50 s—7 h 2 min 30 s = 80 s-ot,
a harmadik napon	
sietett	7 h 5 min 50 s—7 h 3 min 50 s = 2 min-ot,
a negyedik napon	7 h 7 min 30 s—7 h 5 min 50 s = 1 min
sietett	40 s-ot.

Az óra pontossága nem attól függ, hogy siet-e vagy késik, hanem attól, hogy napról napra ugyanannyit siet-e, ugyanannyit késik-e?

A példánkban szereplő óra sietésének nagysága napról napra elég nagy eltérést mutat.

A sietés változása (az óra járása) napról napra:

első napról a másikkra: $80\text{ s} - 65\text{ s} = 15\text{ s}$ növekedés,
 másodikkra a harmadikra: $2\text{ min} - 80\text{ s} = 40\text{ s}$ növekedés,
 harmadikkra a negyedikre: $1\text{ min } 40\text{ s} - 2\text{ min} = 20\text{ s}$ csökkenés.

Ezek után nem is sejtjük, hogy óránk a negyedik napról az ötödikre hogyan fog viselkedni. — Kevesebbet siet, mint előző nap? Esetleg többet siet, vagy ugyanannyit?

Az előző példában szereplő óránk akkor lenne kitűnő, ha nemcsak az első nap, hanem minden következő napon is pontosan 65 s-ot

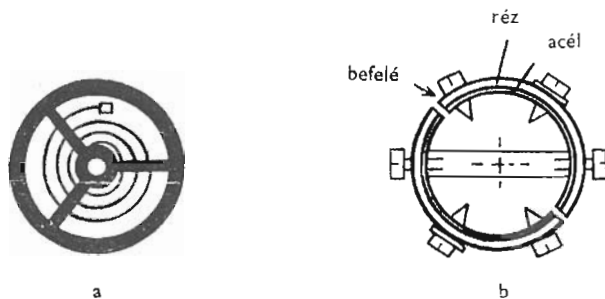
sietne, mert akkor biztosak lehetnénk abban, hogy például négy teljes nap múlva $65 \times 4 = 260 \text{ s} = 4 \text{ min } 20 \text{ s}$ -ot sietne. Ezért a pontos időt úgy tudnánk meg a negyedik napon, ha az óra állásából levonnánk 4 min 20 s-ot, vagy egyszerűen ennyit hátraigazítanánk.

Mérésünk azt mutatta, hogy óránk 4 nap alatt nem 4 min 20 s-mal sietett, hanem 6 min 5 s-mal. Óránk tehát igen szeszélyesen viselkedik, mert „járása” napról napra változik.

Mikor mondható egy óra kitűnőnek? Mikor mondhatjuk, hogy igazán pontos, precíziós óránk van?

A precíziós zsebóra járása naponta legfeljebb 2 s-mal változik! Így például, ha az előbb említett óránk precíziós zsebóra lett volna, és feltételezve, hogy az első napon 65 s-ot sietett, akkor 4 nap múlva legfeljebb $4 \times 2 = 8 \text{ s}$ -mal lehetett volna több vagy kevesebb az összes sietése, mint $4 \times 65 \text{ s} = 4 \text{ min } 20 \text{ s}$. — Tehát a **pontos időt** 4 nap múlva 8 s bizonytalansággal, **1 hónap múlva** pedig $30 \times 2 \text{ s} = 60 \text{ s} = 1 \text{ min}$ bizonytalansággal tudjuk megmondani a legkitűnőbb zsebóra segítségével.

A kitűnő minőségű órát (zsebóra, karóra) első pillantásra elárulja billegőkereke. Az olcsó órák billegőkereke sima, a finom óráké pedig úgynevezett kompenzált billegőkerék, amelyet a 27. ábra alapján azonnal felismerhetünk.



27. Az olcsó órákban sima billegőkerék (a) van. A finom órák billegőkereke kompenzált (b). A melegben a réz jobban kitágul, mint az acél, ezért a kerék pereme a szétmetszés helyén befelé hajlik

Az ábrán látható kompenzált billegőkerék két különböző fémkarikából van összeforrasztva. A külső réz, a belső acél. A kerék felülete két helyen fel van vágva. De van olyan kompenzált billegő is, amelynek kerülete nincs felvágva. A **kompenzált billegőt a kerék kerületébe erősített sok csavar jellemzi.**

Kísérletek az órával

1. Állandó hőmérséklet, mozdulatlan helyzet. Egy meglehetősen állandó hőmérsékletű (15-18 °C) szobában hagyjuk nyugodtan óránkat (asztalon, fiókban), és figyeljük több napon keresztül a járását. Silány karóráknál 1 min eltérés is előfordulhat, kompenzált billegőjű óráknál csak 5-10 s.

2. Az óra a hidegben. Különösen a tél alkalmas az ilyen kísérletre. Az órát (hajszálrugója hosszának változtatásával, a szabályozóval) állítsuk be úgy, hogy a szobahőmérsékleten pontosan járjon. Silány minőségű órát sohasem sikerül pontosan beszabályozni, mert ha egyik nap esetleg pontosan jár, a következő nap már 1-2 min-mal többet is, kevesebbet is mutathat a helyes időnél.

Tegyük a szobahőmérsékleten pontosan járó órát hideg helyre, például télen fűtetlen helyiségbe. A silány óra naponta 4-7 min-ot is siethet. A jól kompenzált márkás óra járásában legfeljebb néhány másodperc változás lehetséges.

3. Óra a zsebben, a karon. A zsebünkben vagy karunkon hordott óra a szobahőmérséklethez képest 5-10°-kal magasabb hőmérsékletre melegedik. Silány órák melegben lassabban járnak, naponta több percet késhetnek. Márkás óráknál csak néhány másodperccről lehet szó.

A kísérletek azt mutatják, hogy **az óra járására legnagyobb hatása a hőmérséklet-változásnak van.**

Mi ennek az oka?

Melegben a hajszálrugó meghosszabbodik, merevsége kisebb fokú lesz, ezért az óra lassabban jár, késik. A billegőkerék is kitágul, nagyobb lesz a tehetetlensége, ez még jobban növeli az óra késését.

Hidegben az ellenkezője történik: a hajszálrugó megrövidül, merevbb lesz, a billegőkerék összehúzódik — ezért az óra siet.

Kísérleteink azt mutatják, hogy kompenzált billegőkerék esetén a hőmérséklet hatása csekély az óra járására. — Miért?

Gondoljuk meg, **hogyan viselkedik a melegben a kompenzált billegő?** — A kerék rézből készült külső karimája jobban kitágul, mint a vele összeforrasztott, acélból készült belső karima, ezért a perem a szétmetszés helyén befelé hajlik (27b ábra). A kerék tehetetlensége kisebb lesz, **az óra gyorsabban jár.**

De ugyanakkor a **hajszálrugó melegedése az óra késését okozza.** A két hatás: a billegőkerék peremének behajlása által okozott sietés és a hajszálrugó melegedése által okozott késés kedvező esetben **kiegyenlíti** (kompenzálja) egymást — **az óra a hőmérséklet-változások ellenére is pontosan jár.**

Természetesen ezt nem lehet úgy elérni, hogy a gyárilag előállított hajszálrugót és a billegőkereket egyszerűen összeszereljük. Egy adott hajszálrugó esetén a billegőkerék peremén levő csavarokat úgy kell elhelyezni és beszabályozni, hogy 5—30° közötti hőmérsékleten a **billegőkerék tehetetlenségének megváltozása éppen kiegyenlítse az óra járásában a hajszálrugó által okozott változást.** — Ez az úgynevezett finomszabályozás hosszadalmas és fárasztó munka, hónapokig, sőt egy évig is eltarthat, és többre kerül, mint maga az óra.

Finomszabályozás közben a billegőkerék peremén levő csavarokat közelebb-távolabb kell helyezni a felmetszés helyétől, változtatni kell becsavarási mélységüket, néha nagyságukat is, hogy a kerék és a rugó kiegyenlítse egymás hatását hőmérséklet-változáskor.

Mi történik, ha egy új és valóban precíziós órának eltörik a hajszálrugója, és az órás egy új rugót tesz bele?

Természetesen most újra el kellene végezni a finomszabályozás hónapokig tartó munkáját. Az is természetes, hogy ez nem történik meg. Néhány nap múlva visszakapjuk az órát. Az óra külsőleg semmit sem különbözik attól, ami volt, de mégis jelentékenyen csökkent értékű, mert most egészen másképpen jár, a hőmérséklet-változásnak jelentékeny hatása van rá.

Mivel a finomszabályozás drága munka, érthető, hogy még a márkás órákat gyártó vállalatok is igyekeznek szabadulni tőle, és egyszerűbb megoldást választanak. Ennek egyik módja az, hogy csak az egészen különleges és drága órákat szabályozzák be, a többi órát pedig a szerzett tapasztalatok felhasználásával csak egyszerűen beállítják.

A legegyszerűbb megoldás az lenne, ha a hajszálrugót meg a billegőkereket is olyan anyagból készítenék, amelynek nem változik meg a rugalmassága, illetve térfogata a hőmérséklet változásával.

Valóban sikerült előállítani ilyen anyagokat (ötvözeteket). Így például az **elinvar** nevű nikkel-acél ötvözet **rugalmassága** csak nagyon kevésbé változik meg a hőmérséklettel. — Az **invaracél**nek pedig (36% nikkel és 64% acél) a **hőkitágulása** 12-szer kisebb, mint az acélé. A **szuperinvar** ötvözet hőkitágulása pedig 100-szor kisebb.

Készítsük tehát a **billegőkerék rugóját elinvarból**, magát a **sima billegőkereket pedig szuperinvarból**, akkor olyan óránk lesz, amelynek eltérése **egy hónap alatt csak 1-2 s!**

Ha óránkat nem lehet úgy beszabályozni, hogy használat közben **naponta 2-5 min** eltérést ne mutasson, akkor az óra **nagyon silány minőségű**. — Ha hetenként **2-3 min** az eltérése, akkor **közepes**, ha pedig **havonta ennyi**, akkor **kiváló az óra**, különösen a karóra.

Kísérletek a mozgások köréből

**A nehéz vagy a könnyű szán csúszik-e
sebebben a domboldalon?**

Azt hiszem, mindenki azt gondolja, hogy a nehezebb csúszik sebebben. Hasonló az eset akkor is, ha egy 80 kp súlyú apa és 35 kp súlyú fia ül egy-egy ugyanolyan gyártmányú kerékpáron, és mindkettőn szabadon futózva gurulnak alá egy lejtős úton. Azonos sebes-

séggel mozognak-e? Egyszerre érnek-e a lejtő lábához? (Feltesszük, hogy amikor a tetőről ereszkedni kezdtek, azonos volt a sebességük.)

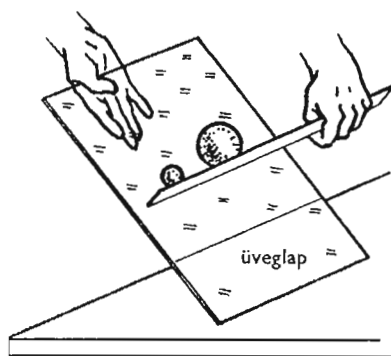
Kísérlettel könnyen felelhetünk a kérdésre. Szükségünk van egy nagyon sima lapra. Kitűnően megfelel például egy 20-25 cm széles üvegcsik, amit az ablakok beüvegezésekor szoktak lemetszeni az üvegtáblából. Kellő gondossággal a mosdók felett szokásos polc üveglapját is használhatjuk.

Támasszuk fel az üveglapot lejtősen valami biztos alátéttel, például könyvvel (esetleg kézzel is tarthatjuk). Üveglapunk lesz a pálya.

A nehéz és könnyű szánt egy nagyobb és egy kisebb acélgolyó képviseli (28. ábra).

Az üveglap felső végén a golyók lecsúszását akadályozzuk meg egy eléjük tartott vonalzóval. — Rántsuk el előlük a vonalzót.

A nagyobb vagy a kisebb golyó fog sebesebben csúszni a lejtőn? Figyeljük az egyre sebesebben csúszó golyókat: teljesen egyformán, egyszerre mozognak, és azonos pillanatban érnek a lejtő aljára.



28. A két különböző súlyú golyó egyszerre ér az asztallapra

A lejtőn lecsúszó test mozgása, a szán mozgása, a kerékpár mozgása nem függ a mozgó test súlyától.

Ez az eredmény annyira érdekes és váratlan, hogy kissé meg kell magyarázni, és akkor érthető, sőt természetes lesz.

Magyarázat: indítsunk el két **egyenlő** nagyságú acélgolyót. Mindkettő együtt mozog, hiszen mindkettőt ugyanakkora erő mozgatja.

Együtt mozog három egyenlő nagyságú acélgolyó is.

Most képzeljük el, hogy a három közül két golyóból **egy** golyót készítünk. Mekkora lesz a mozgatóerő? Kétszer akkora, mint az egy golyót mozgató erő. Mekkora lesz a mozgatott tömeg? Ez is kétszer akkora, mint egy golyó tömege. De mivel a mozgatóerő kétszer akkora,

azért az egy golyónyi anyagmennyiségre most is ugyanakkora mozgatóerő hat, mint egyetlen golyó esetén.

Ezért mozog a lejtőn egyszerre a nagyobb tömegű és a kisebb tömegű test. — Kísérletünkben a levegő ellenállásától és a súrlódástól eltekintettünk.

Egyforma sebességgel esnek-e a különböző súlyú testek?

Ha a lejtőt függőlegesre állítjuk, akkor a lejtőn történő mozgás szabadesésbe megy át.

Előző kísérletünk szerint, ha a lejtőn csúszik a nagy golyó és a kicsi, egyszerre mozognak. Ebből következik, hogy egyszerre kell szabadon esniük is. Ezt is könnyű kísérlettel bizonyítani: tegyünk valamilyen lapra (deszka, keménypapír) egy nagyobb kavicsot és egy kisebbet. Rántsuk ki alóluk hirtelen a lapot.

Azt vesszük észre, hogy pontosan egyszerre koppannak a földre.

Érdekes megjegyzések: 1. Az ember már sok ezer év óta figyel a természetet, és vet fel kérdéseket. Az egyik ilyen egyszerű kérdés az volt, hogy **egyforma sebességgel esnek-e a különböző súlyú testek?**

Azt felelték rá, hogy nem esnek egyformán, hanem a kétszer-háromszor súlyosabb test kétszer-háromszor gyorsabban esik! — Bármilyen egyszerű kísérlettel azonnal meggyőződhetek volna tévedésükről. Ez a balhit mégis fennállt egészen 1566-ig. Ekkor jelent meg **Stevinus** németalföldi mérnöknek egy fizikai tárgyú könyve, amelyben leírja, hogy ő és **Grotius** azonos magasságból különböző súlyú testeket ejtettek le, de azok egyszerre értek a földre. Mintegy 25 évvel később ugyanezt a kísérletet **Galilei** is elvégezte. A pisai ferdetoronyból egyszerre ejtett le egy ágyúgolyót és egy fegyvergolyót; egyszerre értek földet.

Ez az egyszerű kérdés és kísérleti megoldása bizonyítja azt, hogy mennyire fontos a tudomány előrehaladásában, a természet megismerésében a kísérlet, a tapasztalat.

2. **Tételünk szigorúan csak a légitka térre nézve érvényes.** Hiszen ha egy követ és egy papírdarabot egyszerre ejtünk le, nem egyszerre

érnek a földre. Ezt a különbséget a levegő ellenállása okozza, amit majd később vizsgálunk.

A lejtőn való egyforma mozgásra vonatkozó tétel pedig szigorúan csak **csúszó** testekre érvényes. Ha két különböző nagyságú golyó vagy kerék **gurul** a lejtőn, akkor mozgásukban lehet valami kicsi különbség. Ennek az az oka, hogy a nagyobb golyó forgásba hozatalához nagyobb munkát kell végezni, mint a kicsiéhez, ezért annyival kevesebb munkavégző képesség (energia) marad a lefelé mozgásához.

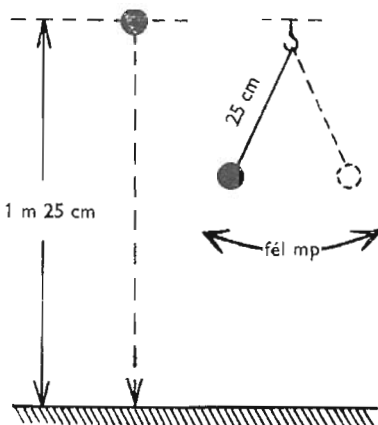
Van-e időnk ellépni a zuhanó tetőcserép alól?

Készítsünk 25 cm hosszú fonálingát. Mialatt az inga egyik szélső helyzetből a másik szélső helyzetbe jut, fél másodperc telik el.

Figyeljük az ingát, és mondjuk lengésének ütemében: tak-tak-tak. Így fél másodpercnyi időket tudunk mérni. Két tak-tak között fél másodperc telik el.

1. Mennyit esik a zuhanó test fél másodperc alatt?

Kísérlet. Mérjük le a falon 1 m 25 cm magasságot. Tegyük oda jelet. A jel magasságából ejtsünk le olyan tárgyat (kavics, golyó), amelynek koppanását jól halljuk (29. ábra).



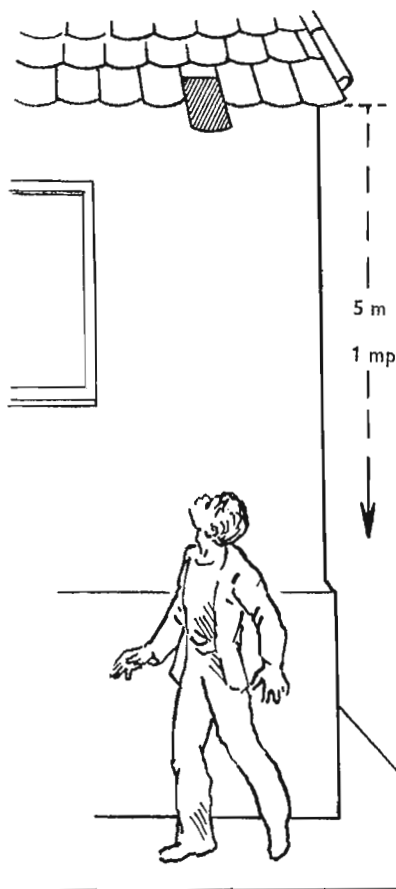
Mondjuk a fél másodpercek ütemében: tak-tak, és pontosan az egyik tak-takkal egyidőben ejtsük le a testet. Pontosan akkor koppan a padlóhoz, amikor a következő tak elhangzik, vagyis fél másodperc múlva.

29. Ejtsünk szabadon egy testet 125 cm magasról, 0,5 s-ig esik

Nyújtsuk fel karunkat, vagy álljunk székre, és így ejtsük le egyre magasabbról a testet. Ha pontosan eresztjük el a testet és jól figyelünk a koppanásra, azt vesszük észre, hogy nem a következő tak szóval egyidőben koppan a földre, hanem valamivel később.

2. Mennyit esik egy másodperc alatt?

Kísérlet. Mérjük ki a falon az emeleti ablakig vagy a padlásfeljárón 5 m magasságot.



Az előbbi módon ejtsünk szabadon ebből a magasságból egy testet, miközben ingánkat figyelve, fél másodpercenként hangoztatjuk: tak-tak-tak.

Azt találjuk, hogy pontosan két fél másodpercig tart esése. **A szabadon eső test az első másodperc-ben 5 m-t esik.**

3. A fontos törvényszerűség.

Láttuk, hogy 0,5 s alatt 1,25 m-t esik,
1 s alatt 5 m-t esik.

Az 5 m az 1,25 m-nél négyszer több. Kimondhatjuk, hogy: a szabadon eső test 2-szer hosszabb idő alatt $2 \times 2 = 4$ -szer akkora utat tesz meg, mint az első időegység alatt; 3-szor, 4-szer több idő alatt pedig $3 \times 3 = 9$ -szer, $4 \times 4 = 16$ -szor több utat.

30. Bőven van időnk elugorni az 5 m magasról lehulló cserép elől, ha idejében észrevesszük

Egy másodperc aránylag hosszú idő. Ha 1 s múlik el egy szabad-
esésbe kezdő tetőcserep megpillantása és a földre esése között,
kényelmesen elléphetünk alóla. Mivel még a földszintes házak teteje
is mintegy 5 m magasan van, a cserep legalább 1 s-ig esik (30. ábra).

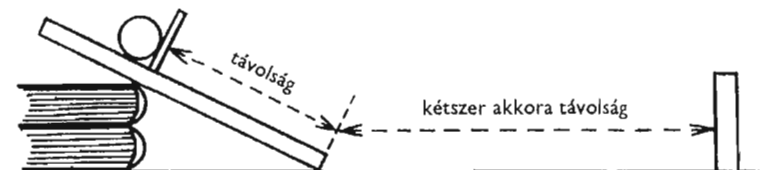
Kerékpárosok, gépkocsizók — figyelem!

Egy „óvatos” ember mondta: sohasem engedi, hogy gépkocsija
80 km/h sebességnél gyorsabban haladjon. Jó betonúton ekkora
sebesség mérsékeltnek látszik a kocsiban ülők számára. De mi tör-
ténne, ha ezzel a sebességgel útszéli fának vagy árokpartnak rohanna
a gépkocsi?

Erről könnyen fogalmat alkothatunk, ha tudjuk, hogy a 72 km/h
sebességgel haladó gépkocsi és a benne ülők oly erővel zuhannak neki
az akadálnak, mintha 20 m magasból szabadon esnének. Képzeljük
el, hogy egy 4-5 emeletes ház tetejéről az utcára zuhanunk — ugyan-
ezzel az eredménnyel jár a 72 km/h sebességgel haladó gépkocsi
ütközése valamilyen nyugalomban levő tárgyhoz.

Be tudjuk ezt is bizonyítani kísérlettel? — Nagyon könnyen,
mégpedig pillanatok alatt elvégezhető kísérlettel.

Kísérlet. Egyenes vonalzó támasszunk alá úgy, hogy lejtő legyen
belőle. Ha egy golyót engedünk a vonalzóról legurulni, a golyó egyre
sebesebben halad, amikor pedig az asztallapra ér, hangosan koppan,
és az asztallapon már egyenletes sebességgel halad tovább (31. ábra).



31. Ugyanannyi idő alatt a golyó az asztallapon kétszer akkora utat fut be, mint
amikorát a lejtőn megtett

Kísérlet: mekkora az a sebesség, amellyel a golyó a lejtő aljához ér?

Tegyük fel, hogy a lejtő aljától 10 cm távolságból engedjük a golyót legurulni; ez az indulási pont. — A vízszintes asztallapon mérjük le a lejtő végétől $2 \times 10 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$ távolságot, és tegyünk oda valamit, aminek majd hangos koppanással nekiütközhet a golyó.

Tegyük a golyót a lejtőn az indulási pontra, az eleresztés pillanatában mondjuk: „nulla”; ezután két koppanást hallunk: az elsőt akkor, amikor a golyó a lejtőről az asztallapra ér, a másodikat akkor, amikor a 20 cm távolságban levő akadálnak ütközik. Azt vesszük észre, hogy a „nulla” és az első koppanás között éppen annyi idő múlt el, mint az első koppanás és a második koppanás között (ezt ütemérzőnkkel meg lehet állapítani, de egy stopperórával történő mérés is igazolná).

Kísérletünk azt bizonyítja: a golyó az asztallapon (bizonyos idő alatt) kétszer akkora utat tesz meg egyenletes mozgással, mint amennyi utat ugyanannyi idő alatt a lejtőn való mozgással megtett.

Még egyszerűbben: **Ha megmérjük, hogy a test 1 s alatt mekkora utat tesz meg a lejtőn, akkor az elért végsebesség a lejtőn megtett út kétszerese másodpercenként.**

Gondolatban állítsuk függőlegesre a lejtőt, ekkor a lejtőn való mozgás szabadesésbe megy át. **A szabadon eső test az első másodperc-ben 5 m utat tesz meg, ezért az első másodperc végén a test sebessége 10 m/s lesz.**

2 s alatt $2 \times 2 \times 5 \text{ m} = 20 \text{ m}$ utat tesz meg a szabadon eső test, tehát a második másodperc végén a sebessége akkora lesz, hogy 2 s alatt 40 m-t haladna egyenletesen, vagyis 1 s alatt 20 m-t. Sebessége 20 m/s.

20 m/s sebességet tehát a 2 s-ig eső test, a 20 m magasról szabadon eső test ér el. (Ugyanígy belátható, hogy a 30 m/s sebességet a harmadik másodperc végén éri el a szabadon eső test, és ezalatt $3 \times 3 \times 5 \text{ m} = 45 \text{ m}$ utat tesz meg. — A 40 m/s sebességet pedig a negyedik másodperc végére éri el a szabadon eső test, és ezalatt $4 \times 4 \times 5 \text{ m} = 80 \text{ m}$ utat tesz meg.)

A 72 km/h sebességgel haladó gépkocsi sebessége 20 m/s

(72 000 m : 3600 s). Az előzőek szerint 20 m/s sebességet a 20 m magasról szabadon eső test ér el.

Bizonyítottuk tehát, hogy ha a 72 km/h sebességgel egyenletesen haladó gépkocsi valamiféle mozdulatlan akadálnak ütközik, ez egyértelmű azzal, mintha 20 m magasról szabadon esve zuhanna alá.

Ha pedig a jármű 30 m/s = 108 km/h sebességgel halad és valaminek nekiütközik, a hatás ugyanaz, mintha 45 m magas torony tetejéről történő lezuhanás végén ütköznénk az akadálnak. — Pedig sorozatgyártású, közhasználatú motorkerékpárokkal és gépkocsikkal sokkal nagyobb sebesség is elérhető, mint 108 km/h.

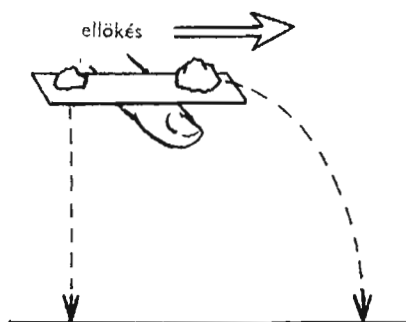
Meglepő kísérlet — A mozgások függetlenségének elve

Szükségünk van egy 8-10 cm hosszú, könnyű fa- vagy keménypapír lemezre, és két kavicsra vagy fémdarabra (például csavaranya). Álljunk fel magasabb helyre (asztal tetejére).

Kísérlet. Tegyük a lemezt kinyújtott ujjunkra a 32. ábra szerint. A lemez két végére pedig helyezünk egy-egy kavicsot vagy vasdarabot. Most a másik kezünk ujjával lökjük oldalt, vízszintes irányban az egyik kavicsot. Ebben a pillanatban a lécs másik végére tett kavics is esni kezd függőlegesen lefelé.

Melyik kavics marad tovább a levegőben?

Könnyen megtudjuk, ha a koppanásokat figyeljük. Amelyik kavics később koppan a padlóhoz, annak mozgása hosszabb ideig tartott, az maradt tovább a levegőben.



32. A leeső kavicsok egyszerre koppannak a földre

Figyeljük tehát a kavicsok koppanását. Azt állapítjuk meg, hogy **a kavicsok pontosan egyszerre koppannak a padlóhoz**, akárhányszor ismételjük is meg a kísérletet.

•Ez meglepő és érdekes tapasztalat. Hiszen az egyik kavics csak függőlegesen esett, de az ellökött kavicsnak oldalirányban is kellett mozognia, meg függőleges irányban is kellett esnie.

Mennyi idő alatt végezte el a vízszintes irányban is mozgó kő a függőleges esést? Pontosán annyi idő alatt, mint a másik kő, amelynek nem volt más dolga, csak az, hogy szabadon essék.

Ha tehát egy testnek (az oldalt ellökött kavicsnak) egyszerre kétféle mozgást kell végeznie, akkor mindkét mozgást elvégzi úgy, mintha a másik mozgás ott sem volna. Például éppen úgy esik szabadon, éppen úgy emelkedik függőlegesen, mintha nem is kellene közben oldalirányban is mozognia.

Ez a mozgások függetlenségének elve vagy törvénye.

Példa. 1. Emeleti ablakból vagy toronytetőről két személy egyszerre dob le két testet. Az egyik szabadon ejti, a másik nagy erővel vízszintes irányban elhajítja. — Melyik ér le később a földre? (Egyszerre érnek le.)

2. Egy léggömb lebeg 30 m magasán. Alatta áll egy ember, kezében kővel. — Néhány száz méter távolságban egy másik ember áll, kezében fegyverrel. Egyszerre dob az egyik kővel függőlegesen felfelé, a másik pedig lő a léggömbre úgy, hogy **a kő is, a golyó is pályájuknak legmagasabb pontján ériék a léggömböt.** — A kő vagy a fegyvergolyó éri-e előbb a gömböt? (Egyszerre érnek oda.)

Milyen magasra dobtunk ?

Miközben dobunk, nyilazunk, parittyázunk vagy fegyverrel lövünk, magasra száll az eldobott kő, az elrepített tárgy, a fegyvergolyó. Látunk egy magas fát, érdekel, hogy hány méter magas lehet.

Erre könnyen megfelelhethünk. Még azt is megmondhatjuk, hogy milyen magasra szállt a légpuska vagy komolyabb golyós puska látáhatatlan lövedéke.

Csupán azt az időt kell mérni, ami a tárgy elröpítésétől a földre éréséig eltelt. Ha követ hajítunk el, labdával dobunk vagy nyilazunk, könnyű megállapítani azt a pillanatot, amikor a tárgy a földre esett.

A fegyver lövedékét nem látjuk. De ha tó vagy nagyobb vízfelület partján állunk, és úgy tartjuk a fegyvert, hogy a visszahulló golyó a víz felszínére essék, akkor könnyű észrevenni, hogy a visszaeső lövedék melyik pillanatban esett a víz felszínére.

Tegyük fel, hogy 4 s múlik el a tárgy elhajításától számítva addig, amikor újra földet ér.

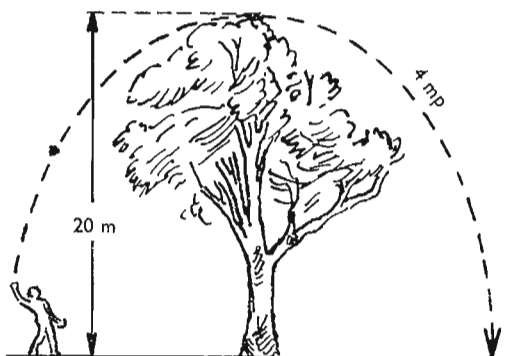
Akkor az emelkedés ideje 2 s, az esés ideje is 2 s. A tárgy tehát olyan magasra emelkedett, hogy onnét 2 s-ig esett szabadon. 2 s alatt pedig a szabadon eső test $2 \times 2 \times 5 \text{ m} = 20 \text{ m}$ utat tesz meg. — A test 20 m magasra emelkedett.

De milyen irányba hajtsuk el a testet? Függőlegesen, vagy kissé oldalt? — Egészen mindegy, ahogyan nekünk jobban esik. A módszer minden esetben megmondja azt, hogy a test milyen magasra emelkedett. Kővel magasabbra tudunk dobni, ha nem függőlegesen hajítjuk, a fegyvergolyó meg akkor halad legmagasabbra, ha függőlegesen löjük ki. A fegyvert azért is célszerű majdnem függőlegesen tartani, hogy a lövedéke ne essék olyan távolságban tőlünk a víz színére, hogy észre se vesszük a becsapódáskor keltett vízhullámokat.

Példa. Ha a fegyver elsütése és a golyó vízbe esése között 20 s telt el, akkor a golyó $10 \times 10 \times 5 \text{ m} = 500 \text{ m}$ magasra emelkedett.

Hogyan mérjük a másodperceket? Legjobb, ha van stopperóránk. Pontatlanabb eredményt kapunk, ha óránk másodpercmutatója segítségével próbáljuk a néhány másodpercet mérni. De **óra nélkül is közelítő eredményhez juthatunk, ha időérzékünkre bízunk magunkat,** és az eldobás pillanatában számolni kezdünk: e-gyet, ket-tőt, hármat. . . Így a másodperceket is becsülhetjük.

Fa vagy torony magasságát is megállapíthatjuk ily módon (33. ábra). Követ hajítunk a fa csúcsán át (úgy, hogy a kő éppen pályájának legmagasabb pontjában legyen a csúcs felett), és megmérjük, hány másodpercig repül a kő. Ennek az időnek felét vesszük, és kiszámítjuk, hogy ennyi másodperc alatt mennyit esik a szabadon eső test.



33. A fa csúcán áthajított kő repülési idejéből kiszámíthatjuk a fa magasságát

Jól jegyezzük meg, hogy a függőleges irányban megtett utat egyáltalán nem befolyásolja az, hogy a kő oldalirányban is halad. (Ezekben a kísérletekben nem vesszük figyelembe a levegő ellenállását.)

Van-e súlya az eső testnek? — A súlytalanság állapota kísérletekben

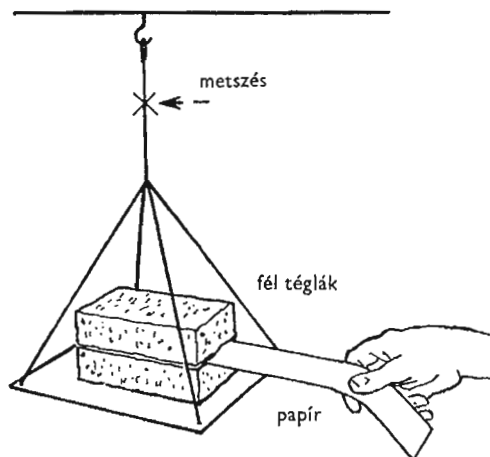
1. Kísérlet: az épségben maradt papírlap. — Egy deszkalapot zsineg segítségével vízszintes helyzetben felfüggesztünk az ajtófélfára (34. ábra).

Tegyünk a deszkalapra egymás fölé két féltéglát, a téglák közé pedig újságpapírból kivágott hosszú szalagot. Próbáljuk kihúzni a papírszalagot a téglák közül. — Nem sikerül. A téglá annyira leszorítja a papírszalagot, hogy inkább elszakad a papír.

Feszítsük meg kissé a papírszalagot, és közben messzük el a felfüggesztő zsineget. A papír sértetlenül kiszabadul.

Kísérletünk azt bizonyítja, hogy a szabadon eső téglá nem nyomja a papírt — nincs súlya, a súlytalanság állapotában van.

2. Kísérlet: az elalvó gyertya (35. ábra). Szükségünk van egy üres VIM súrolóporos (vagy egyéb) hengerre. Egyik vége nyitott legyen. Aki nem sajnálja a fáradságot, a doboz oldalába ablakot is vághat, de ezt celofánnal gondosan be kell ragasztani. A doboz aljára kis



34. Még a selyempapír is sértetlenül kijön a téglák alól

35. Ejtsük szabadon a dobozt. Esés közben elalszik a gyertya



gyertyát ragasztunk. Gyújtsuk meg a gyertyát, azután álljunk fel az asztal tetejére, és 2-3 m magasból, aljával lefelé, ejtsük szabadon a dobozt.

A gyertya esés közben elalszik. (Sötét szobában megfigyelhető, hogy a gyertya fénye kialszik, mielőtt a doboz a földhöz koppanna.)

Mi ennek az oka? A gyertya égése közben, mint tudjuk, széndioxid-gáz keletkezik. Ha a szén-dioxid a láng körül maradna, akkor a gyertya elaludna. De nem marad ott, mert a lángtól felmelegedett gáz kitágul, könnyebb lesz, felszáll, és helyébe friss levegő áramlik, benne az égéshez szükséges friss oxigén-gáz.

Az égési gázok eltávozását az a **súlykülönbség** teszi lehetővé, ami a kisebb fajsúlyú égési gázok és a fel nem melegedett levegő között fennáll. A könnyebb gáz a nehezebb gázban felszáll, éppen úgy, mint a könnyebb parafadugó a nehezebb vízben.

Miért alszik el a gyertya? Azért, mert esés közben a keletkező széndioxid nem tud eltávozni, nem tud helyébe oxigénes levegő áramlani. Ugyanis esés közben megszűnik a forró és a nem forró gázok között a súlykülönbség — nincs felhajtóerő.

Bármilyen hihetetlenül hangzik is, de igaz az, hogy **a szabadon eső pohár vízben nem merül alá a vasdarab, és nem bukkan a felszínre a víz fenekén levő parafadugó sem.**

A mesterséges holdakban levő tárgyak a súlytalanság állapotában vannak. Ezt a Földön csak szabadesés közben tudjuk pillanatokig megvalósítani. Ha a lift lefelé indul, vagy hintán lefelé mozgunk, súlyunk néhány pillanatra csökken, belső szerveinkre kisebb erő hat, ez okozza a különös közérzetet.

Munka — Munkavégző képesség — Energia — Munkasiker

**Hány lóerősek vagyunk? —
Jólétünk alapja: az energia**

Ha a termelésben csak az emberi, állati munkavégzésre lennénk utalva, igen szűkösen állnánk anyagi javak tekintetében.

Még a múlt század közepén is (1850 körül) Földünkön a nehéz munka 80%-át állati erő végezte, 14%-át emberi erő, és csak 6%-át erőgép (gőzgép, vízerőmű).

Ma az állati munkavégzés 1%-ra csökkent, a gépi 96%-ra emelkedett. De még mindig igen jelentékeny, 3% az emberi erővel végzett nehéz testi munka.

Végeredményben ma gépek alakjában 12-szer annyi munkavégző képesség (energia) dolgozik egy-egy ember jóléte érdekében (világ-átlagban), mint abban az időben, amikor még az emberi és állati izomerőre volt utalva a világ.

A gépek munkavégző képességét **régebben lóerőben** adták meg. Ez valóban szemléletes jelölés. Ha egy gép minden másodpercben 75 kp-ot tud 1 m magasra emelni, akkor másodpercenkénti munkavégző képességét, teljesítményét 1 LE-nek mondjuk.

Ennek az elnevezésnek az eredete az, hogy régebben lovakat használtak a munkagépek, például a bányaszivattyúk működtetésére.

Amikor Watt megbízást kapott arra, hogy gőzgépet készítsen a szivattyúk hajtására, meg kellett állapítania, hogy a lovak mekkora munkát tudnak végezni. Azt találta, hogy nehéz testű, sörgyári lovak rövid ideig másodpercenkénti 75 mkp munkavégzésre képesek. A közönséges lovak hosszabb ideig tartó munkában fél lóerőnyi munkasikerrel (teljesítménnyel) dolgoznak.

Ma a munka legnagyobb részét elektromotorok által forgatott gépek végzik, ezért mindinkább terjed a munkateljesítmény új, elektromos eredetű egysége, a kilowatt. A kilowattot könnyű lóerőre átszámítani (és viszont).

1 kW	1,36 LE
1 LE	0,735 kW.

Az erőművekben elektromos energiát termelő gépek teljesítményét ezer kilowattokban = megawattokban szokás megadni.

$$1 \text{ MW} = 1000 \text{ kW} = 1360 \text{ LE.}$$

Mennyibe kerül a gépi munka és az emberi izommunka?

Ha villanymotorral végeztetnénk el azt a munkát, amit egy átlagos testi munkás 1 év alatt elvégez, villanyszámlánk csak 50 Ft lenne.

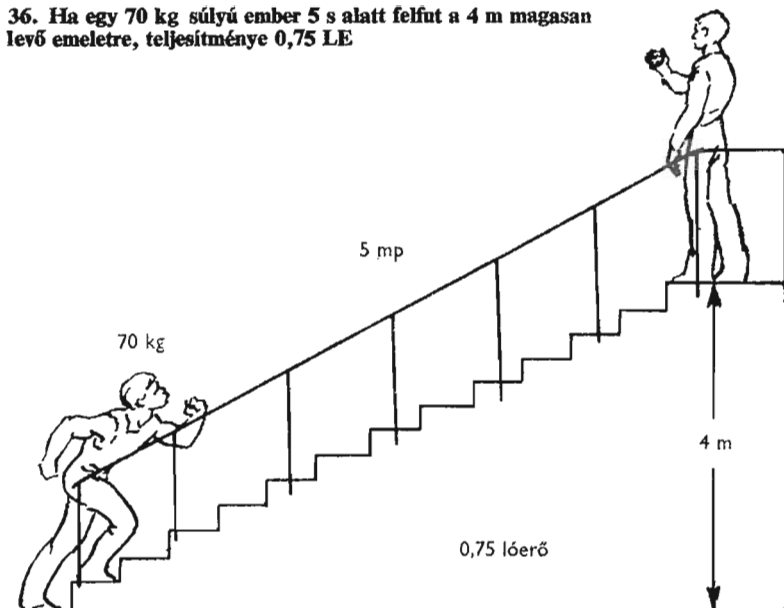
1 munkás 1 évi izommunkájának értéke 50 Ft, ha az elektromos áram munkájának árával fejezzük ki.

De egy izommunkás napi bére ma kb. 120 Ft. Ennyi pénzért egy „gépmunkás” több mint két évig dolgozik.

Megmérjük munkateljesítményünket rövid ideig tartó munkában

Bárki könnyen meghatározhatja azt, hogy hány lóerőt tud kifejteni. Csupán azt kell megmérni, hogy hány másodperc alatt tud a lépcsőn feljutni például az első emeletre. Az időt egy másodpercmutatós órán olvassuk le. Ajánlatos, hogy az időt ne a futó mérje, hanem másvalaki, az időmérő, aki a lépcső tetején áll.

36. Ha egy 70 kg súlyú ember 5 s alatt felfut a 4 m magasan levő emeletre, teljesítménye 0,75 LE



A futás megkezdésére az időmérő adja meg a jelet, azután nagyon pontosan megfigyeli, hogy hány másodperc múlik el addig, amíg a futó felér hozzá. — Természetesen, csak néhány másodpercről van szó. Ilyen rövid idő alatt meglepően nagy munkaképességet tud kifejteni az ember.

1. Kísérlet. Egy 70 kg súlyú ember 4 m magas emeletre szalad fel. Nyugalmi helyzetből indul (tehát nem nekifutással). A mért idő 5 s (36. ábra).

A számítás.

A végzett munka: mivel a futó a 70 kg súlyú testét 4 m magasra emelte, azért a munka = erő \times az erő irányában történt elmozdulás =
 $= 70 \text{ kg} \times 4 \text{ m} = 280 \text{ mkg}$.

A teljesítmény: az 1 s alatt végzett munka = $280 \text{ mkg} : 5 \text{ s} =$
 $= 56 \text{ mkg/s}$.

Fejezzük ki lóerőben, tehát osszuk el 75-tel.

A teljesítmény = $56 \text{ mkg/s} : 75 = \text{kb. } 0,75 \text{ LE}$.

2. Kísérlet. Előző kísérletünk nem ad hű képet a teljesítményről, mert a futó nyugalmi helyzetből indult. Ezért nemcsak a lépcsőn kellett felfelé emelnie testét, hanem még sebes haladó mozgásba is kellett azt hoznia (tehetetlenségét legyőznie). Ez a mozgása megvolt még akkor is, amikor a lépcső tetejére ért, de a benne rejlő munkát nem vettük számításba. — Az igazi teljesítmény nagyobb az előbb kapott értéknél.

Egy újabb kísérletben ugyanaz a személy nekifutással szaladt fel a 4 m magas emeletre, és az utat — attól a pillanattól számítva, amikor a lépcsőre lépett — 3,4 s alatt tette meg. Az előző módon számított teljesítménye ekkor 1,1 LE volt.

Kimondhatjuk, hogy **ha az ember 3–4 s-ig teljes erejét kifejti, teljesítménye körülbelül 1,1 LE.**

Tanulság: miért nem szeretik a közlekedési vállalatok a sok megállót?

A futó mindkét esetben kifejtette teljes munkavégző képességét. Hogyan lehetséges az, hogy teljesítménye csak 0,75 LE volt akkor, amikor **nekifutás nélkül** szaladt fel a lépcsőn, tehát 0,35 LE-vel kevesebb, mint amikor nekifutással szaladt fel (1,1 LE).

A futó teljesítménye a nekifutás nélküli esetben is 1,1 LE volt, csakhogy ebből a lépcsőfutásra (amire számításunk vonatkozott) csak 0,75 LE jutott. A hiányzó 0,35 LE-t pedig arra fordította a futó, hogy testét a nyugalmi helyzetből sebes futásba lendítse!

Lépcsőfutása 5 s-ig tartott. — **Mennyi energiát, mennyi munkavégzést fordított arra, hogy testét futásba lendítse?** Annyit, amennyi munkát 0,35 LE-nyi teljesítménnyel 5 s alatt végezhetett volna. Az 1 LE teljesítmény 75 mkg-nyi munkavégzés 1 s alatt. Akkor 0,35 LE egyenlő $75 \text{ mkg} \times 0,35 = 26,25 \text{ mkg}$ munka 1 s alatt. De esetiünkben 5 s-ig dolgozott a futó, tehát az 5 s alatt $26,25 \text{ mkg} \times 5 = 131 \text{ mkg}$ munkavégzésbe került az, hogy testét futásba lendítse. Ez kb. annyi munkavégzés, mintha 50 kg súlyú zsákot 2,6 m magasra emelt volna fel. Aligha hittük volna!

Ezért kerül sokba a közlekedési vállalatoknak, ha a megállóhelyek sűrűn vannak, mert akkor a megállás után újra fel kell gyorsítani a járművet, ami energiába, pénzbe kerül.

Munkateljesítményünk hosszabb idő alatt

1. Kísérlet: teljesítménymérés néhány perces munkában. Ne fussunk, hanem csak a szokásos módon siessünk fel az első emeletre. A mért idő 15 s. Mekkora a teljesítményünk, ha súlyunk 70 kg?

15 s alatt végzett munkánk: $70 \text{ kg} \times 4 \text{ m} = 280 \text{ mkg}$.

1 s alatt végzett munkánk: 280 mkg 15 s alatt $18,7 \text{ mkg/s}$.

Lóerőben fejezzük ki: $18,7 \text{ mkg/s} : 75 = \text{kb. } 0,26 \text{ LE}$.

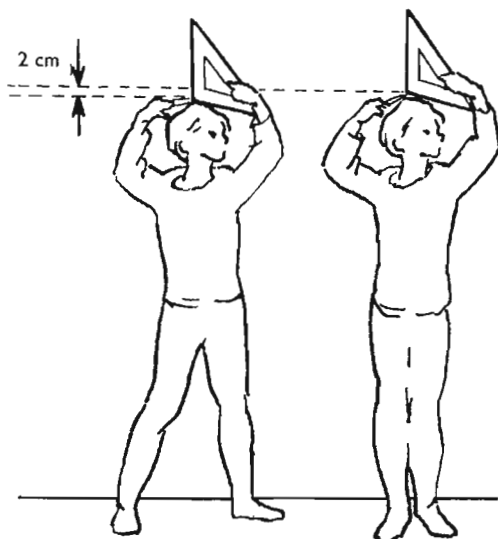
Ha a lépcsőt ilyen iramban járjuk, akkor talán 4-6 emeletet tudunk megtenni egyfolytában (1-2 min alatt), de kifáradunk, meg kell állnunk pihenni.

1-2 min-os munkavégzés közben 0,2-0,3 LE-vel tudunk dolgozni.

2. Kísérlet: órák alatt? — Ezt is megmérhetjük. Miközben lépkedünk, testünk súlypontja emelkedik, süllyed. Testünk emelgetésére természetesen munkát kell végeznünk! Mekkora ez a munka? Először azt kell tudnunk, hogy lépésenként milyen magasra kell felemelni testünket. Ezt így mérjük meg:

a) Álljunk a fal mellé, és lábunkat annyira tegyük szét, mint amekkora lépésünk hossza. Jelöljük meg a falon testmagasságunkat ceruzavonással, a fejünk tetejére tett háromszögvonalzó segítségével (37. ábra). Azután tegyük össze lábunkat. Fejünk most feljebb kerül. Jelöljük meg ebben a helyzetben is testünk magasságát a falon. A két ceruzajel közötti távolságot olvassuk le. Legyen ez például 2 cm. Akkor feltehetjük, hogy minden lépéskor 2 cm-rel emelkedik, illetve süllyed súlypontunk. Tehát minden lépéskor akkora munkát végzünk, mintha testünket 2 cm = 0,02 m-rel emeltük volna fel. Ha például súlyunk 70 kg, akkor a lépésenként végzett munka $70 \text{ kg} \times 0,02 \text{ m} = 1,4 \text{ mkg}$.

b) Menjünk most olyan gyorsan, ahogyan naponta 8 órát tudnánk gyalogolni. Mérjük meg, hogy 1 min alatt hány lépést teszünk.



37. Így mérhetjük meg azt, hogy egy lépés alatt hány centiméterrel emelkedik testünk súlypontja

1 min-ra essék 140 lépés. Akkor 1 min alatt testünk emelgetése miatt $1,4 \text{ mkg} \times 140 = 196 \text{ mkg}$ munkát végzünk.

1 s-ra jut $196 \text{ mkg} : 60 = 3,3 \text{ mkg}$ munkavégzés.

De járás közben nemcsak emelgetjük testünket, hanem végtagjainkat is mozgatjuk, ez is munkavégzést kíván. Ezzel együtt mintegy 5-6 mkg-ra becsülhetjük a másodpercenként végzett munkát. Ez nem csekélység, mert képzeljük el, hogy napi 8 órán át minden másodpercben 5-6 kg-ot kellene 1 m magas asztalra emelni. Alighanem elfáradnánk. De elfáradnánk a napi 8 órai gyaloglásban is.

Kimondhatjuk tehát, hogy napi 8 órás munkaidőt számítva, általában tisztességes teljesítmény az, ha az ember 5 mkg munkát végez másodpercenként. Ez megfelel 0,07-0,08 LE-nek. Ez az ember átlagos munkateljesítménye.

1 LE = 12-14 embererő.

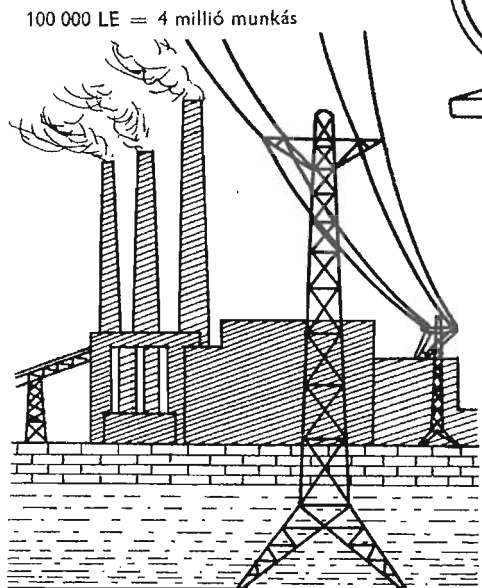
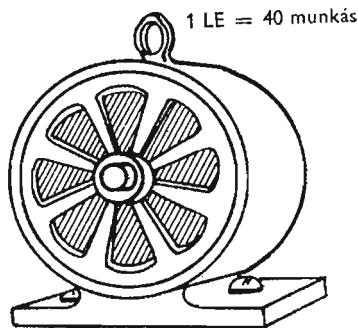
De a gép háromszor nyolc órán át is dolgozhat egyfolytában. Ezért 1 LE-s gép 24 órás üzemben 3-szor több embererőt helyettesít (38. ábra).

1 LE 24 órás üzemben = 40 testi munkással (8 órás munkaidőben).

Nagyon tanulságos, ha erőműveinket ennek a számadatnak alapján nézzük. Egyetlen 100 ezer LE-s erőmű 4 millió munkás munkavégző képességét küldi szét az országba elektromos energia alakjában (39. ábra). Ez egymaga több, mint a hazánkban dolgozó összes emberi izomerő.

Séta és emeletjárás. Gyalogoljunk fel 70 kg-os testsúlyunkkal az első emeletre. Számítsunk egy emeletre szerényen csak 4 m-t. Ekkor $70 \text{ kg} \times 4 \text{ m} = 280 \text{ mkg}$ munkát végzünk. Mekkora sétának felel ez meg?

38. Az 1 LE-s kis elektromotor 40 munkás munkaerejét pótolja 24 órás üzemben



39. Egy 100 ezer LE-s erőmű 4 millió fizikai munkás munkavégző képességét küldi szét az országba

Ha vízszintes úton járunk, legyen munkavégzésünk 2 mkg lépésenként. Ekkor 280 mkg-nak 140 lépés, azaz kb. 100 m-nyi út felel meg.

Megdöbbentő példa: tegyük fel, hogy egy lakóház 8 emeletes. Ha elromlik a lift, és valaki gyalog kénytelen felmenni, ez annyit jelent, mintha közel 1 km-t kellene gyalogolnia. — Az 1 km-t 10-15 perc alatt teszi meg, de a 8. emeletre fele, harmada idő alatt akar feljutni — nagyon elfárad.

A forgómozgás

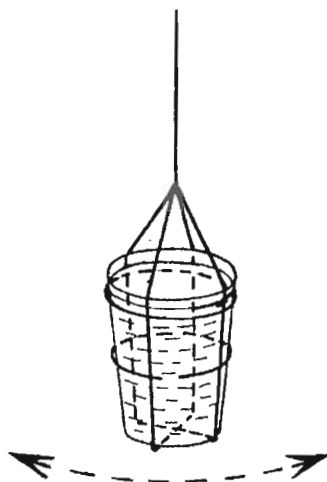
A körbeforgatott tele pohár

1. Kísérlet. Készítsünk zsinagból a 40. ábra szerint tartót a vízepohár számára. Töltsük tele vízzel a poharat. — A zsinagnél bátran függőleges körben forgathatjuk anélkül, hogy a víz kifolynék belőle.

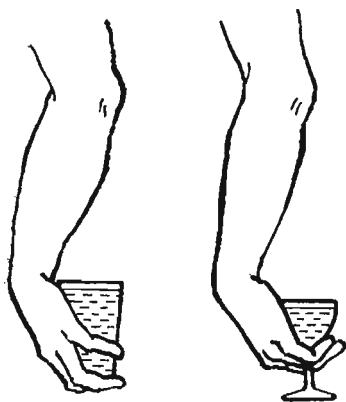
Mielőtt teljes kört írának le, egy-két „bemelegítő” lengést végzünk vele.

2. Kísérlet. Zsinag nélkül is egyszer körbeforgathatjuk a poharat, de ehhez már több ügyesség kell, és az, hogy a poharat megfelelően fogjuk meg. Nem szabad a poharat oly módon megfogni, ahogyan például iszunk belőle. A nyeles serleg és a közönséges pohár megfogása módját a 41. ábra mutatja.

Jobb kezünk tenyerét fordítsuk felfelé, a serleg nyakát fogjuk a mutató-



40. Kössük zsinaghalóba a poharat, ha körbe akarjuk forgatni



41. Kifelé fordított jobb kézzel és felfelé néző tenyérrel fogjuk meg a tele poharat

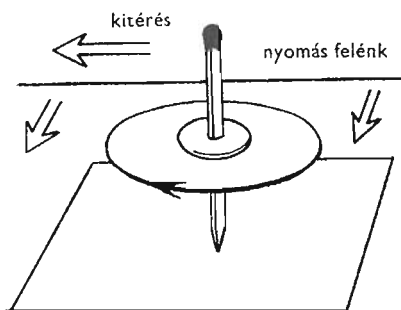
és a középujj közé. A közönséges poharat pedig tegyük felfelé fordított tenyerünkre, és jól markoljuk meg! — Az indítás, a megállás ne nagyon hirtelen történjék, mert a folyadék kilöttyen. Indításkor a kezünk feje forduljon el testünktől.

Körülforgatás közben a pohár szája mindig forgási középpont: a vállunk felé nézzen.

Mielőtt a mutatványt a szobában is kipróbálnánk, előbb gyakoroljuk kinn a szabadban.

A különç pörgettyű

1. **Kísérlet.** Keménypapírból vágjunk ki körlapot. A körlap közép-pontján dugjunk át kihegyezett gyufaszálat (42. ábra). Hogy a gyufaszál szilárdan álljon, azért a körlap közepét megvastagítjuk oly módon, hogy 2-3 kis körlapocskát ragasztunk egymás fölé. Sokkal könnyebben pörög a pörgettyű az asztallapra állítva, ha tengelyének végébe gombostűdarabkát szúrunk, és a gombostű fején forog a pörgettyű.



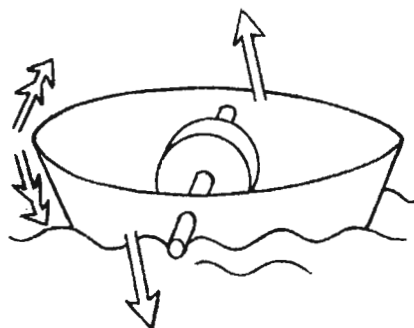
Ha tengelyénél fogva megpörgetjük, forgás közben állva marad. Ez közismert. De nem közismert a pörgettyű következő tulajdonsága.

42. Ha kifeszített fonállal felénk próbáljuk nyomni a pörgettyű tengelyét, a nyomás irányára merőlegesen, oldalt tér ki

2. Kísérlet. Próbáljuk a tengelyét két kezünkkel feszesen tartott fonállal elnyomni valamerre (például a 42. ábrán felénk). Azt tapasztaljuk, hogy a tengely ellenáll a kitérítő erőnek, és nem a nyomás irányában tér ki, hanem arra merőlegesen.

Ez azért feltűnő, mert az egyenes vonalú mozgások esetén ahhoz szoktunk hozzá, hogy a test abban az irányban mozdul el, amerre az erő hat.

Ennek **érdekes alkalmazása** van: pörgettyűvel igen nagy mértékben csökkenteni lehet a tengerjáró hajók oldalirányú mozgását hullámozás alkalmával. A hajóba nagy tömegű pörgettyűt építenek be, a hajó hosszára merőlegesen álló tengellyel (43. ábra).



43. A hajóba épített nagy tömegű pörgettyű akadályozza a hajó oldalirányú billegését

Ha a hullám oldalirányba akarja a hajót billenteni (egyes nyilak), a pörgettyű ellenáll, és inkább a vízszintes síkban akar elfordulni (kettős nyíl), de akkor a hajó orrát kellene a pörgettyűnek jobbra vagy balra kimozdítani irányából. Ez a víz ellenállása miatt nehezen menne.

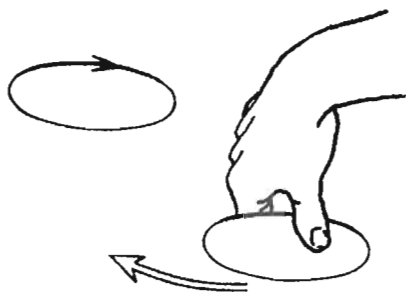
A forgómozgás mint stabilizátor — A siklómozgást végző korong és pörgettyű

1. Kísérlet. Vastagabb kartonpapírból vágjunk ki 15-20 cm átmérőjű körlapot (söröspohár-alátét is megfelel).

a) Tegyük a papírkorongot tenyerünkre, és dobjuk el lapjával

vízszintesen, anélkül hogy megpörgetnénk. — A korong repülés közben állandóan változtatja állását.

b) Fogjuk meg a korongot a szélénél, és úgy hajtsuk el lapjával vízszintesen, hogy jól pörögjön. — A korong repülés közben megtartja eredeti állását (44. ábra).



44. Hajtsunk el egy megpörgetett vas-tag papírkorongot vízszintesen álló lapjával — a korong vízszintes helyzetben repül tovább

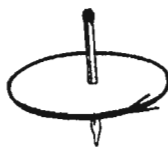
A diszkoszdobó is jól megpörgeti dobáskor a korongot, hogy eredeti állását megtartsa — élével haladjon a levegőben. Ugyanis, ha repülés közben elfordul úgy, hogy oldalfelülete halad szembe a levegővel vagy közben bukfeneczik, kisebb távolságra repül.

2. Kísérlet: a siklórepülést végző pörgettyű. — Az előző fejezetben leírt, gyufaszál tengelyű pörgettyűnket pörgessük meg vízszintes hely-



45. A vízszintes lapú, megpörgetett és szabadon ejtett pörgettyű siklórepüléssel, lassan esik

lassan esik



zetű korongállásban, és egy-másfél méter magasból ejtsük szabadon. A pörgő korong megtartja lapjának vízszintes állását, és szép sikló-repülésben száll alá (45. ábra). Ha szerencsésen eresztettük el, akkor még földre esése után is pörög.

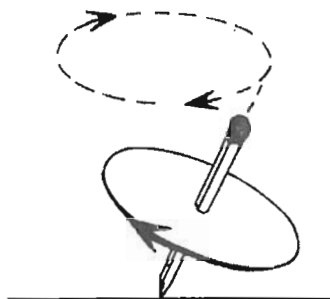
Az ilyen pörgő korongoknak — éppen azért, mert helyzetüket igyekeznek megtartani — fontos szerepük van a repülőgépek, hajók automatikus kormányzó szerkezetében és a pörgettyűiránytűben.

Mindig sarkcsillag marad-e a Sarkcsillag?

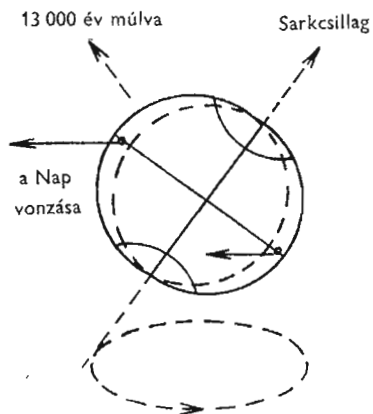
Kísérlet: ferdén álló tengellyel pörgessük meg a korongot az asztalon (46. ábra). A ferdén álló korongot a Föld vonzása el akarja dönteni függőlegesen lefelé. — De tudjuk, hogy a tengely **nem** az erő irányában (lefelé) fog elmozdulni, hanem arra merőlegesen, oldalt. Az új helyzetben megint oldalt tér ki, ezért kört ír le.

A korong helyett képzeljük egy gömböt a ferdén álló tengelyre erősítve (47. ábra). A Föld is egy ilyen, tengelye körül forgó pörgettyű. Jelenleg a forgó Föld tengelye az északi Sarkcsillag irányába mutat.

46. Ha ferdén áll a pörgettyű tengelye, akkor a tengely vége pörgés közben kört ír le



47. A Földet óriási pörgettyűnek tekinthetjük. Tengelyének állását a Nap és a Hold együttes hatása meg akarja változtatni, ezért a tengely 26 ezer év alatt egy teljes kört ír le az égen



Az a kérdés, hogy a Sarkcsillag felé mutatott-e a Föld tengelye például 2000 évvel ezelőtt is? — Ha a Föld tengelyének irányát semmiféle erő sem akarná megváltoztatni, akkor tengelyének iránya örökre változatlan maradna. De ha valamilyen erő meg akarja változtatni, akkor a Föld tengelyének el kell mozdulnia erre az erőre merőlegesen.

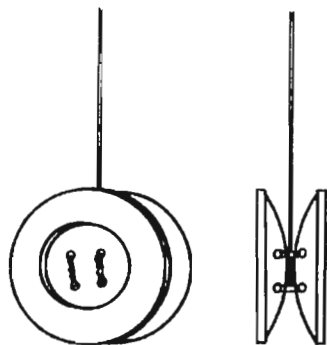
A Napnak és a Holdnak a Földre gyakorolt vonzása valóban meg akarja változtatni a Föld forgástengelyének irányát. Ennek az oka egyrészt az, hogy a Föld forgástengelye nem áll merőlegesen a Föld Nap körüli pályájának síkjára, másrészt pedig, hogy a Föld kissé lapult gömb. A Nap és a Hold vonzóereje ugyanis nagyobb a földgömbnek a hozzájuk közelebb eső kidudorodó részére, mint az ellenkező oldalon fekvő távolabbira (a 47. ábrán a Nap felé mutató nyilak hossza mutatja az erők különböző nagyságát). Ezért a Nap és a Hold együttes hatása a pályára merőlegesre igyekszik állítani a tengelyt. Ennek következtében a Föld gondolatban meghosszabbított tengelyének mindkét vége épp úgy mozog az égre írt kör kerületén, mint ahogyan kísérletünkben a pörgettyű ferdén álló tengelyének vége is kör kerületén mozgott.

A csillagászok megfigyelése szerint **a Föld tengelyének meghosszabbítása az égbolton egy teljes kört 26 ezer év alatt ír le.** Ezért 13 ezer év múlva a Föld tengelye az égboltnak egy olyan pontja felé mutat majd, amely a kör középpontjától éppen olyan messze lesz, mint a mai Sarkcsillag, csakhogy az **ellenkező oldalon.** Akkor a kékesfehéren világitó, fényes Vega lesz a sarkcsillag.

Van egy hősköltemény (Homérosz Odüsszeiája), amely kb. 3000 évvel ezelőtt keletkezett. Abban az időben — a költemény szerint — az égnek egy másik csillaga volt a sarkcsillag, hiszen a Föld tengelye más égtáj felé mutatott, mint ma. Ez a régi sarkcsillag olyan messzire esik a mai Sarkcsillagtól, hogy közük kb. 10 teliholdat lehetne elhelyezni.

Kísérlet. Vegyünk két egyforma nagyságú kabátgombot. Minél nagyobbak, annál jobb. Tegyük őket domború oldalukkal egymás mellé, és a lyukakon át cérnával fűzzük őket erősen egymáshoz.

Kössünk erős cérnaszálat a két gomb között az összefűző szálakhoz, és tekerjük fel a cérnaszálat (48. ábra). Vegyük a végét kezünkbe és engedjük a gombokat leesni. A gombok forgásba jönnek.



48. Jo-jo kabátgombból

Amikor a cérna végére értek, tovább forognak, és a cérna most az ellenkező irányban tekeredik a gombok köré. A gombok pedig majdnem olyan magasra emelkednek fel a cérnán, amilyen magasról leejtettük őket.

A cérnaszál végének ütemes emelgetésével elérhetjük, hogy a gombok fel-le szaladnak a cérnaszál hosszában.

Magyarázat: amikor a gombok leesnek a cérna végére, sebes forgásban vannak, és tehetetlenségük miatt tovább igyekeznek forogni. De ez csak úgy lehetséges, hogy a felcsavarodó és egyre rövidülő cérna miatt felemelkednek.

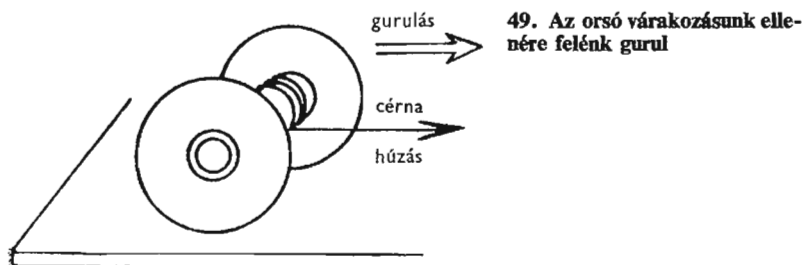
Ez az emelkedés munkavégzést kíván. A gombok csak akkora munkát végezhetnek, amennyi energiájuk van. Mivel a forgási energiát esés közben nyerték, most legfeljebb ugyanolyan magasra emelkedhetnek (az energia megmaradásának ténye alapján), mint amilyen magasról leestek.

Valóban, majdnem olyan magasra fel is emelkednek, ha mozdulatlanul tartjuk a cérna végét. — Azért nem emelkednek pontosan ugyanolyan magasra, mert közben sokféle ok miatt (például súrlódás a levegőhöz, a gombokhoz) veszítenek mozgási energiájukból.

Ha lefelé pörgésük közben kissé felfelé emeljük a cérnaszál végét, ezáltal meggyorsítjuk a pörgést, munkavégzésünk forgási energiává alakul át. Ez az energia pótolja az elvesztett energiát, és a felfelé futó jo-jo a kezünkig emelkedik.

Kísérletek cérnaorsóval

a) **A felénk guruló orsó.** Nézzük a 49. ábrát. Mi történik, ha húzzuk a cérnát? Azt hinnénk, hogy még több cérna gombolyodik le az orsóról és az orsó távolabb fog gurulni.



Végezzük el a kísérletet: a cérnaorsó — várakozásunk ellenére — felénk gurul.

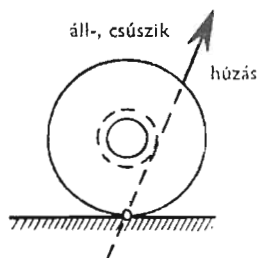
b) **Nem forog az orsó.** Tartsuk az orsót úgy, mint az 50. ábrán látjuk, vagyis a cérna iránya haladjon át azon a ponton, ahol az orsó az alappal érintkezik. Ábránkon ezt a pontot F betűvel (forgáspont) jelöltük, mert ha gurul az orsó, akkor valóban e körül a pont körül fordul el.

Húzzuk meg a cérnát. — Az orsó **nem** fordul el sem jobbra, sem balra, hanem **csúszni fog, haladó mozgást végez.**

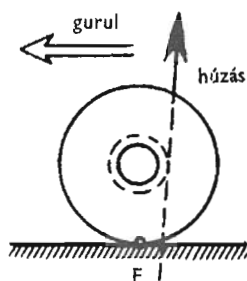
c) **A visszafelé guruló orsó.** Tartsuk a cérnát úgy, ahogyan azt az 51. ábrán látjuk. A cérna iránya az alapot most olyan pontban metszi, hogy a metszéspont **jobbra** esik az F ponttól, az elfordulás pontjától.

Húzzuk meg a cérnát. — Az orsó **elgurul** tőlünk.

Hasonlítsuk össze a fonal irányát (az erő irányát) az első és a harmadik kísérletben: az első kísérletben az erő iránya az F forgásponttól



50. Ha a fonal iránya az F ponton halad át, az orsó nem jön forgásba



51. Ha a fonal iránya az F ponttól jobbra metszi az alapot, az orsó balra gurul

balra dőfte az asztalapot, a harmadik kísérletben pedig **jobbra**. A forgatóhatás mindkét esetben más volt, egymással éppen ellenkező.

Ezeket a kísérleteket nemcsak cérnaorsóval, hanem bármilyen hasonló tárggyal is elvégezhetjük, például azzal a bádogorsóval is, amire az írógépszalagokat tekerceselik, vagy a fényképészeti filmek orsójával.

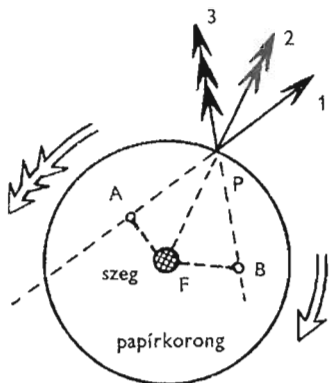
Magyarázó kísérlet az elforduló koronggal

Az orsók érdekes viselkedése a következő néhány egyszerű kísérlettel világos és természetes lesz előttünk.

Vágjunk ki keményebb papírból (rajzlap is jó) kb. 5 cm sugarú korongot. Egy rajzszeggel erősítsük falra (rajztáblára), hogy a rajzszög körül mint F forgástengely körül elfordulhasson (52. ábra).

1. Kísérlet. Lyukasszuk át a kerületéhez közel eső F pontban, és kössük oda a cérnát. Ha a cérnát az 52. ábrán I -gyel jelzett irányban húzzuk, akkor természetesnek találjuk, hogy a korong az F szeg (forgástengely) körül az **egy** nyíllal jelzett irányban fordul el.

Ez még világosabb lesz akkor, ha az I -gyel jelzett erő irányát visszafelé meghosszabbítjuk, és a cérnát az A pontban kötjük meg (A az a pont, ahol a forgáspontból húzott merőleges metszi az erő irányát). A fizika egyik törvénye szerint merev testeknél az erő támadáspontja az erő irányában eltolható.



52. A korong az F ponton átszúrt szög körül foroghat. Húzzuk az 1-es irányba cérnával: a korong úgy forog, mint a felénk guruló orsó. Ha a 2-es irányba húzzuk, nem forog. Ha a 3-as irányba húzzuk, úgy forog, mint a tőlünk elguruló orsó

Ha az A pontban fogjuk meg a korongot és az I erő irányában akarjuk elmozdítani, akkor már úgy forog, mint egy kerekes kút kereke, azaz az **egy** nyíllal jelölt irányban.

Hol metszené az I erő iránya az F forgástengelyen átmenő vízszintest? — A forgástengelytől balra. Éppen úgy, mint a cérnaorsó kísérlet első esetében. Most már érthető, hogy a cérnaorsó az **a)** esetben húzásakor felénk gördül.

2. Kísérlet. Lássuk most azt az esetet, amikor a cérnaorsó elgördül tőlünk. Ilyenkor az erő a forgásponttól jobbra metszette a vízszintest.

Az 52. ábránkon ilyen a 3-as számú erő.

Az I -es erőhöz hasonlóan az erő támadáspontját itt is eltolhatjuk az erő irányába eső B pontba. Ha egy kerekes kút kerekét ebben a pontban a 3-as erő irányában húznánk, a kerék az F tengely körül a **három** nyíllal jelölt irányban forogna. Ez volt cérnaorsós kísérletünk **c)** esete, amikor az orsó **elfordult** tőlünk.

3. Kísérlet. Az erő (a cérna) iránya az ábrán a 2-vel jelzett irány, amely az F forgásponton megy át.

Tegyük át az erő támadáspontját a tengelybe, azaz húzzuk a tengelyt a 2-es erő irányába. Egy kerék szilárdan megerősített tengelyét bármilyen irányban húzhatjuk, a kerék nem fordul el.

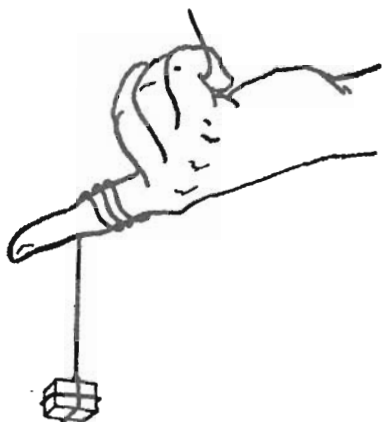
Amikor a cérna iránya az orsó F pontján ment át, nem is jött forgásba az orsó.

Miért rövidebb a tél, mint a nyár?

Kísérlet. Kb. fél méter hosszú fonálra kössünk kisebb testet, például radírgumit, rajzszeget, és forgassuk körbe. Dugjuk egyik ujjunkat a fonál mellé úgy, hogy a fonál rácsavarodjon (53. ábra). Azt vesszük észre, hogy minél rövidebb lesz a fonál, annál rövidebb idő alatt tesz meg egy körbeforgást a fonál végén levő test.

Jelenségek a természetben.

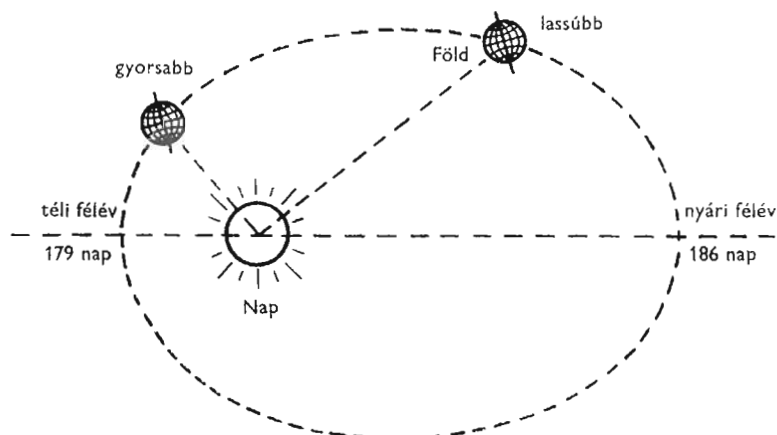
1. Ennek érdekes példáját látjuk a **mesterséges hold és a holdat kilövő rakéta utolsó fokozata esetében.** A mesterséges hold a rakétából való kilépésnél még egy gyöngye lökést kap, kissé nő a sebessége, míg



53. Az ujjunkra tekeredő zsinég egyre rövidül, és a végére kötött tárgy körülforgásának ideje egyre rövidebb lesz

a hordozórakétáé kissé csökken (a visszalökő erő miatt). Tehát eleinte a mesterséges hold rövidebb idő alatt kerüli meg a Földet, mint a hordozórakéta. De nagyobb felületű hordozórakéta sebességét a közegellenállás jobban csökkenti, mint a gömb alakú mesterséges holdét. Ezért a hordozórakéta közelebb kerül a Földhöz — és keringési sebessége egyre nő. Minél közelebb jut a Földhöz, annál inkább megelőzi a Földtől távolabb keringő mesterséges holdat.

2. A **bolygók mozgásában.** A bolygók a Nap körül keringenek, csakhogy pályájuk nem kör, hanem ellipszis, amelynek egyik gyújtópontjában van a Nap (54. ábra). Tehát a bolygó néha közelebb, máskor távolabb kerül a Naptól, amelyhez a tömegvonzás ereje köti — láthatatlan fonállal. Az ábra szerint télen ez a „fonál” rövidebb, nyáron hosszabb. Télen tehát a bolygó keringése meggyorsul, nyáron lelassul.



54. A Föld ellipszis alakú pályán kering. Télen közelebb kerül a Naphoz — keringése meggyorsul

Ennek következménye az, hogy a Föld aránylag rövidebb ideig tartózkodik a „téli” helyzetben, amikor is a földtengely kedvezőtlen állása miatt a napsugarak igen kis szög alatt esnek az északi félgömbre, ezért melegítő hatásuk kicsiny. A téli „félév” 7 nappal rövidebb, mint a nyári.

A farkát csóváló kutya és az ingó óra

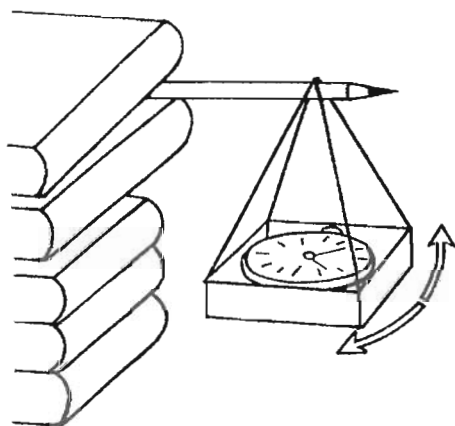
Kísérlet. Ülünk zongoraszékre levegőbe tartott lábakkal és kinyújtott kezekkel. Forduljunk hirtelen oldalt felsőtestünkkel. Lábunk és a szék ellenkező irányban fordul el (55. ábra). Ugyanez történik, ha hintán ülünk és felsőtestünket hirtelen egyik irányba fordítjuk. Felsőtestünk és lábunk ellenkező irányú elfordulását akkor is jól észrevehetjük, ha közönséges széken ülünk és elvégezzük az előbbi kísérletet. Ezt a jelenséget a hatás és visszahatás egyenlősége magyarázza. Ha egy rendszer (a testünk) egyik részével bizonyos irányú forgásmennyiséget közlünk (a rendszeren belüli erővel, azaz testünk egyik része hat a másikra), akkor a rendszer másik része ugyanakkora, de ellenkező irányú forgásmennyiséget kap.



55. Ha zongoraszéken ülünk és kinyújtott karjainkat felsőtestünkkel együtt hirtelen elfordítjuk, lábunk az ellenkező irányban mozdul el

A farkát csóváló kutyan észrevehetjük, hogy amikor balra csóválja a farkát, testének hátsó része ellenkező irányban mozdul el.

Akasszuk fel egy vékony szegre zsebóránkat kengyelénél fogva. A zsebóra élénken jobbra-balra billeg. Az óraszerkezet ugyanis állandó ide-oda forgásban tartja a billegőkereket. De ha a billegőkerek egy irányban elfordul, ugyanakkora, de ellenkező irányú forgásmennyiséget kap az óra, tehát az ellenkező irányban billen el.



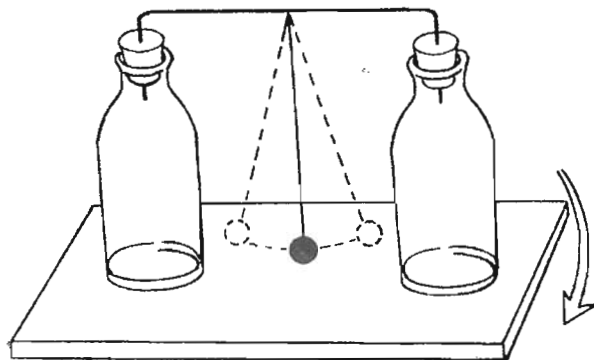
56. Fektesse papírdobozba az órát, és az ábra szerint függesszük fel cérnaszálakra. Az óra meglepő mértékben leng ide-oda

Még jobban megfigyelhető a jelenség akkor, ha az órát vízszintes helyzetben függesztjük fel négyszálasan (56. ábra), és a felfüggesztett fonalak hosszának, egymástól való távolságának változtatásával megvalósítjuk azt, hogy ennek a csavarási ingának lengés-ideje megegyezzen az óralengések idejével.

Így bizonyították be, hogy a Föld forog

Kísérlet. Az inga lengésének síkja nem változik. Az 57. ábra szerint készítsünk két literes üvegből és alumínium drótból egy 50-60 cm magas állványt. A meghajlított drót végeit a dugókon szúrjuk át (előzőleg szeggel lyukat fúrunk a dugókba). Az állványt állítsuk egy rajztáblára (gyúródeszkára), amelyet majd elforgathatunk az asztal-lapon.

Függesztünk fel cérnaszálon a dróra egy súlyt. Ez lehetőleg gömb alakú és sima felületű legyen (pl. megolvasztott gyertyából gyúrt gömböcske, homokkal töltött ping-pong labda), hogy lengés közben



57. Ha a lengő inga állványát a rajztáblával együtt elforgatjuk, az inga lengésiránya nem változik

a levegő ellenállása egyenletesen hasson minden oldalára, és ne térítse néhány lengés után oldalt az ingát.

Hozzuk az ingát a keret síkjába eső lengésbe, és figyeljük meg, hogy a szoba melyik része (például az ablak) felé leng.

Ha az állvány nyugalomban van, az inga lengésiránya hosszabb idő múlva sem változik meg, mindig abban az irányban leng, amelyben elindítottuk.

Forgassuk el a rajztáblát, vele együtt elfordul az állvány is. Az elforgatott állványhoz képest megváltozik az inga lengésiránya — jóllehet

a mozdulatlan szobának mindig ugyanazon helye (például az ablak) felé leng.

Képzeljük magunkat egy zárt szobába, ahonnan nem láthatunk ki. Tegyük fel, hogy a szoba lassan forog egy tengely körül, mégpedig egy nap alatt fordul egyet. A szobába zárva ezt a forgást nem vennénk észre. De könnyű lenne a szoba elfordulásáról már 10-20 min múlva is meggyőződni oly módon, hogy a mennyezetre egy fonálingát függesztenénk fel, és az ingát lengésbe hoznánk, például egy, a falon húzott vonás irányában. Néhány perc múlva azt tapasztalnánk, hogy az inga nem a vonás felé leng, hanem a fal más pontja felé.

De mi tudjuk, hogy az inga lengéseinek síkja nem változik. Ha mégis úgy látnánk, hogy a környezet más-más pontja felé leng, ebből arra kellene következtetnünk, hogy a környezet mozdult el az inga lengésirányához képest.

Ha házunkat pontosan az Északi- vagy a Déli-sarkon építenénk, akkor az inga lépésiránya óránként 15° -kal változnék, tehát az inga lengésiránya egy nap alatt körüljárná az egész szobát.

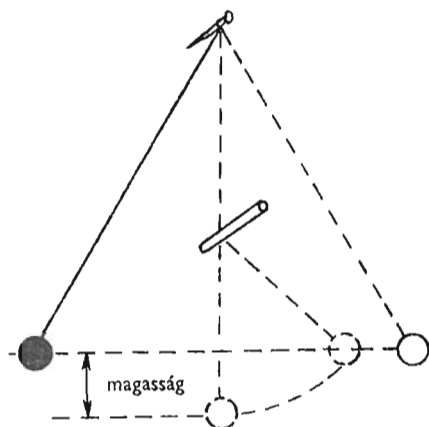
Foucault francia orvos ilyen ingakísérlettel bizonyította be a Föld forgását a nagyközönség előtt Párizsban, 1856-ban. Egy épület kupolacsarnokában 28 kg súlyú golyót függesztett fel 67 m hosszú acéldrótra, lengésbe hozta, és néhány perc múlva észrevehető volt a lengés irányának elfordulása.

Említésre méltó, hogy ezt az ingakísérletet már 1661-ben elvégezte az olasz **Viviani** Firenze városában, majd 1833-ban **Bartolini** Riminiben, de **Foucault** nem tudott róluk.

Az energiamegmaradás elvének bizonyítása ingával

Kísérlet: az inga lengője a másik oldalon mindig ugyanakkora magasságra emelkedik.

Akár előbb leírt állványunkon készítünk ingát, akár rajztáblára vert hosszabb szeg végére függesztjük fel (58. ábra), megfigyelhetjük, hogy ha az ingát bizonyos magasságból elengedjük, a másik oldalon ugyanakkora magasságra emelkedik.



58. Az energiamegmaradás elvének egyik igazolása. Az inga lengője a másik oldalon mindig ugyanakkora magasságra emelkedik, még akkor is, ha a fonál útjába pálcikát tartunk

Tartsunk a fonál útjába pálcikát vagy ceruzát; az inga akkor is ugyanolyan magasra lendül fel. A magasba emelkedés munkavégző képességet (energiát) kíván. Ugyanakkora magasba emelkedés ugyanakkora munkavégzést, ugyanakkora energiát.

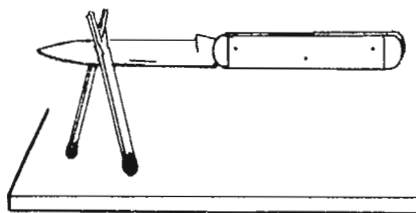
Kísérletünkkel tehát bebizonyítottuk azt, hogy ha az ingát egyszer a magasba emeltük (energiát adtunk neki), pályájának bármely pontjában változatlanul megtartja ezt az energiát, mert ha felemelkedésre kényszerítjük (a fonál mellé tartott pálcikával) — ismét elvégzi ugyanazt a munkát, amit befektettünk.

Kísérletek a súlypontra

Ami senkinek se sikerül

Kísérlet: a lovagló fogpiszkáló. Törjünk meg felében egy fogpiszkálót vagy gyufaszál lefaragott végét dugjuk másik gyufaszál hasítékába és helyezzük mint lovaszt a kés élére (59. ábra).

Próbáljuk meg úgy tartani a kést, hogy a lovas **mindkét lába éppen csak** érintse az asztallapot, és a lovas mégis nyugalomban maradjon. Nem sikerül, a lovas mozogni kezd a kés élén.



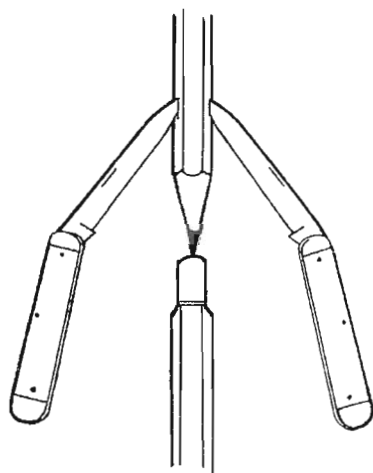
59. Tartsuk kezünkkel a kést úgy, hogy a lovas mindkét lába érintse az asztallapot — a lovas feltétlenül elmozdul

Magyarázat: ha a lovas két lába az asztallapra ér, kezünk remegése miatt a kés éle kissé eltávolodik a lovastól. A lovas nem tud megállni támaszték nélkül, ezért előre- vagy hátrabillen mindaddig, amíg újra rá nem ül a kés élére. Ámde a játék szabályai szerint most megint annyira kell felemelnünk a kést, hogy a lovas lába éppen csak érintse az asztallapot, ezért az elmozdulás folyton megismétlődik.

Ami mindenkinek sikerül

Kísérlet: a hegyén álló ceruza. Ez a kísérlet különböző változataiban közismert. Ha a ceruzába két zsebkést szúrunk, akkor a 60. ábra szerint ráállíthatjuk egy másik ceruza végére.

Ebben a helyzetben ugyanis a rendszer (ceruza + kések) súlypontja a megtámasztási pont (a ceruza hegye) alá esik, ilyenkor a testek állása biztos.

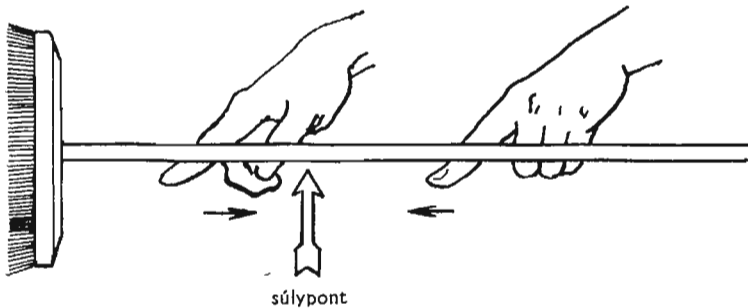


60. A ceruza biztosan áll a hegyén, mert a ceruzából és a késekből álló rendszer súlypontja a megtámasztási pont alá esik

Kísérlet: egy seprű súlypontját keressük meg csúsztatással. Egy seprű (bot, fejsze, szabálytalan rúd) súlypontját próbálgatással lehet megkeresni. Kinyújtott ujjunkra fektetjük, és olyan helyet keresünk, ahol alátámasztva nyugalomban marad. Az alátámasztási ponton átmenő függőlegesbe esik a súlypont.

De minden próbálgatás nélkül is — szinte önműködően meg lehet találni a seprű súlypontját a következőképpen: fektessük kinyújtott két kezünk mutatóujjára vízszintes helyzetben a seprűt (61. ábra). Ezután szép lassan mozgassuk egymás felé két kezünket. Akár hisszük, akár nem — a seprű nem billen le ujjainkról, hanem egyensúlyban marad, és két ujjunk találkozási helyén lesz a súlypont (két ujjunk helyett két ceruzával is alátámaszthatjuk a seprűt).

Magyarázat: a seprű egymástól távol levő két ujjunkon fekszik. Az egyik ujjunk bizonyára messzebb van a súlyponttól, mint a másik (például az ábrán a jobb oldalon levő ujj). Erre az ujjunkra a seprű kisebb súllyal nehezedik, mint a másik ujjunkra. Tehát ha ujjunkat mozgatjuk, akkor arra az ujjunkra, amelyre a seprű nyomóereje kisebb, kisebb súrlódás is hat. Ezért ez az ujjunk fog elmozdulni a seprű alatt mindaddig, amíg mindkét ujjunk egyenlő távol nem lesz a súlyponttól. Ebből következik, hogy végül is két ujjunknak a súlypont vonalában kell találkozniuk.



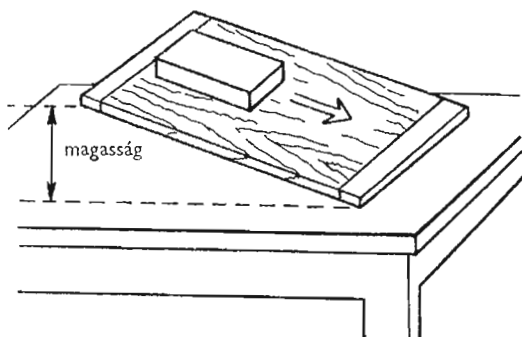
61. Így lehet csúsztatással, próbálgatás nélkül, megtalálni a seprű súlypontját

Kísérletek a súrlódásra

Egy meglepő felfedezés

1. Kísérlet: kisebb lapján vagy a nagyobbikon csúszik könnyebben a doboz? Szükségünk van egy sima felületű deszkára (rajztábla is megfelel) és valamilyen téglalap alakú tárgyra (tolltartó, mosóporos-, szappanosdoboz, tartalmával együtt).

Tegyük a tárgyat nagyobb lapjával a táblára, azután emeljük fel a tábla egyik végét. Egyszer csak olyan meredek lesz a lejtő, hogy a tárgy egyenletesen csúszni kezd rajta (62. ábra).



62. Mindegy, hogy a dobozt nagyobb vagy kisebb felületű oldalára fektetjük-e. A rajztábla végét mindegyik esetben ugyanolyan magasra kell felemelni, hogy a doboz egyenletes mozgással csússzék

Jegyezzük meg, hogy milyen magasra kellett emelni a lejtő végét.

Ezután helyezzük a tárgyat kisebb lapjával a lejtőre, és figyeljük meg, hogy mikor kezd újra csúszni. Azt találjuk, hogy mindkét esetben ugyanolyan magasra kellett emelni a lejtő végét. Tehát mindkét esetben ugyanakkora erőre volt szükség a súrlódás legyőzéséhez, a test egyenletes mozgatásához.

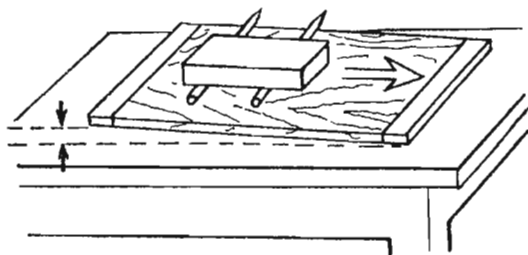
Ebből az következik, hogy ha vízszintes felületen kell odébb húznunk vagy tolnunk egy testet, a továbbmozgatáshoz szükséges erő nagysága nem függ attól, hogy a test melyik oldalával fekszik a felületen.

A súrlódás nagysága független az érintkező felületek nagyságától.

2. Kíséret: a súrlódás nagysága függ az érintkező felületek anyagától. Tegyük a rajztáblára papírt, üveglapot, fémlapot, vagy más anyagból készült lapot, és emeljük megint olyan magasra a végét, hogy a keletkező lejtőn éppen csúszásnak induljon a ráhelyezett test. Azt vesszük észre, hogy üveg-, fém-, fafelület esetén más-más meredekségű lejtőn következik be a csúszás, tehát más és más a súrlódás nagysága.

A gördülő súrlódás meglepően csekély

Tegyük a rajztáblára helyezett tárgy alá két hengeres ceruzát. Emeljük fel a tábla végét, hogy a test egyenes mozgásba jöjjön (63. ábra).

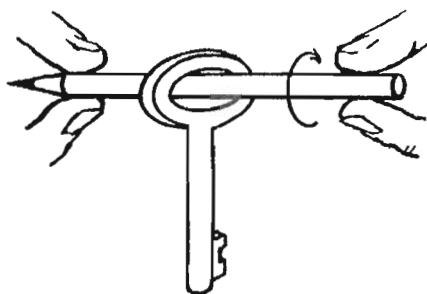


63. A rajztábla végét alig kell felemelni, és a test máris gördül a ceruzákon. A gördülő súrlódás meglepően kicsiny

Alig kell kissé felemelni a tábla végét, és a test máris gördül a ceruzákon. Kíséretünk szerint a gördülő súrlódás igen csekély a csúszó súrlódáshoz képest, mintegy 50-ed része annak.

Köznapi tapasztalat egyszerű kísérletekben. Mozgás közben kisebb a súrlódás

Gömbölyű ceruzára függesztünk fel egy kulcsot (64. ábra). Ha a ceruzát egyre ferdébben tartjuk, egyszer csak csúszni kezd rajta a kulcs.



64. Mozgás közben kisebb a súrlódás

Billentsük vissza a ceruzát olyan ferdére, hogy még ne csússzon rajta a kulcs, és most forgassuk a ceruzát hossz tengelye körül. A kulcs csúszni kezd rajta. Ha a forgatást abbahagyjuk, a kulcs megáll.

Ez az egyszerű kísérlet szembeszökően mutatja, hogy a súrlódás sokkal kisebb akkor, ha a testek egymáshoz képest mozgásban vannak, mint nyugalmi helyzetben.

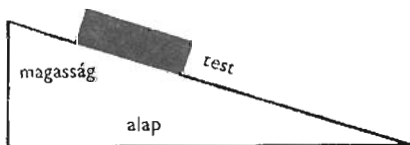
Minden nap tapasztalataink is igazolják ezt: a kézikocsit helyéről elmozdítani nehezebb, mint mozgásban tartani; ha már mozgásban van a padlón csúsztatott tárgy, kisebb erővel tudjuk mozgatni, mint ami elindításához kellett.

Megmérjük a súrlódási együtthatót

Tegyük fel, hogy egy 100 kg súlyú kocsit 15 kg húzóerővel tudunk lassan, egyenletesen mozgatni sima pályán. Ekkor a súrlódási együttható 15% (vagy 0,15).

Ha fatárgyat sima falapon mozgatunk, a súrlódási együttható kb. 40% (vagy 0,4). Ez annyit jelent, hogy a fatárgyat súlyának 40%-ával (0,4-ével) tudjuk egyenletesen mozgatni vízszintes pályán.

A 65. ábra szerinti kísérlettel igen könnyű megmérni a súrlódási



65. Ha a test egyenletesen csúszik a lejtőn, akkor súrlódási együtthatóját úgy számítjuk ki, hogy a lejtő magasságát elosztjuk a lejtő alapjának a hosszával

együtthatót. Abban a helyzetben, amikor a test lassú, egyenletes mozgással csúszik a lejtőn, megmérjük a lejtő magasságát és alapját. A súrlódási együtthatót megkapjuk, ha a lejtő magasságát elosztjuk alapjával. Például egy fából készült vonalzó vagy rajztábla sima lapjára üveglemezt helyeztem, azután lejtősen állítottam a lapot. Az üveglemez akkor kezdett egyenletesen csúszni (a falap kopogtatása közben), amikor a lap által alkotott lejtő magassága 5,5 cm volt, alapja pedig 20 cm. Ezért az üveg—fa súrlódási együtthatója $\frac{5,5}{20} = 0,275 = 27,5\%$.

II. GÁZOK ÉS FOLYADÉKOK

Kísérletek az áramló levegővel

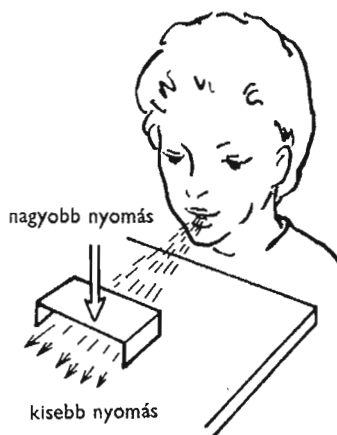
Biztosan megnyerhető fogadások

1. Kísérlet: a lehasaló papírlap. Géppapírból vagy rajzlapból vágjunk ki egy 10-12 cm hosszú és 2-3 cm széles papírszeletet. Mindkét végén 2 cm hosszú lábat hajlítsunk neki (66. ábra), és állítsuk ezekre a „lábakra”. — Ki tudja ezt a papírpapot fújással feldönteni? Ez igazán könnyűnek látszik. Ám a legerősebb fújással sem érünk el eredményt, akár alatta, akár felette fújunk el. — A pad inkább lehasal, de fel nem dől.

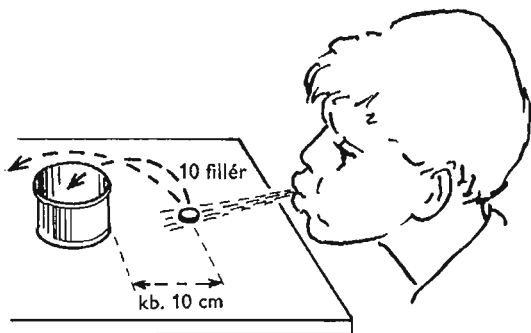
2. Kísérlet: az ugró pénzdarab. Tegyük az asztallapra az asztal szélétől kb. 5 cm távolságra egy tízfilléres pénzdarabot. A tízfilléres mögé pedig 10-15 cm-nyire egy tányérkát vagy üres konzervdobozt. —

Ki tudja a tízfillérest az edénybe juttatni úgy, hogy közben semmihez sem nyúlhat hozzá?

A megoldás nem is olyan nehéz, mint gondolnánk. Tartsuk fejünket úgy, hogy állunk az asztallap szélével azonos magasságban legyen (67. ábra), és akkor erős pöffentéssel fújunk a tízfilléres felénk eső szélére... Egy-két próba után sikerül a pénzdarabot az edénybe ugratni, de az is lehet, hogy átugorja azt.



66. Nem tudjuk feldönteni



67. A pénzdarab magasra ugrik, ha erősen rápuffantunk

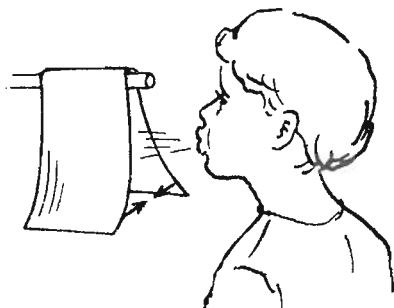
Ha már egy kis gyakorlatot szereztünk, akkor a tányér helyére poharat tehetünk: ebbe is beleugrik a tízfilléres.

Lehet például olyan versenyt rendezni, hogy tíz próbálkozás közül hány sikerül.

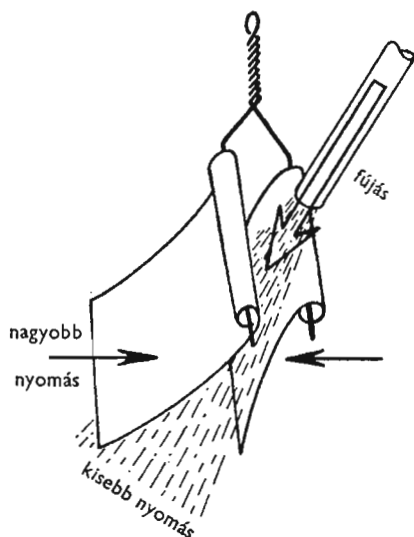
Szét nem fújható papírlapok

1. Kísérlet. Egy fél ív papírt hajlítsunk meg közepén, és a 68. ábra szerint tegyük egy kezünkben tartott ceruzára. Fújunk a szétnyílt papírlapok közé. Nem sikerül szétfújni őket. Ahelyett, hogy szétnyílnának, összecsapódnak.

Még érdekesebb! Tartsunk mindkét kezünkben egy-egy ceruzát, amelyeken a 69. ábra szerint meghajlított papírdarab (rajzpapír, levelezőlap) függ.



68. Fújunk a papírlapok közé. — Szétnyílás helyett összehajlanak



69. A papírlapok várakozásunk ellenére összecsapódnak

Fújjunk felülről a lapok közé. Azt várnánk, hogy a lapok szétnyílnak. — Az ellenkezője következik be: a lapok összecsapódnak. Annál nagyobb erővel záródnak össze, minél sebesebb a közéjük fújtt légáram.

A kísérlet magyarázata: a lapok között sebesen áramlik a levegő. A lapok oldalán pedig nyugszik a levegő. Azonban az áramló levegőben ki-

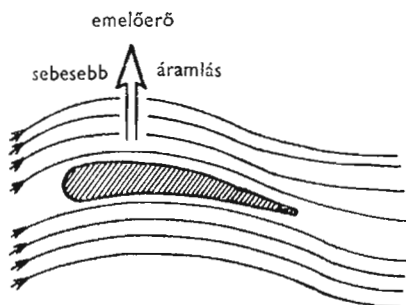
sebb a légnyomás, mint a nyugvó levegőben. Ezért a lapokra oldalról nagyobb erő hat, tehát összezáródnak.

Ha csak egyetlen görbült lap függ a ceruzán és elfújjunk a domború oldala mellett, akkor is elbillen a lap a görbület felé.

Ez a kísérlet kitűnően szemlélteti azt, hogy a repülőgépszárny görbülete felett elsuhanó levegő emelőhatást gyakorol a repülőgépszárnyra (70. ábra).

Papírpados kísérletünk is könnyen magyarázható. Ha a pad alatt

fújjunk el, akkor a pad alatt nyomáscsökkenés van, a pad lelapul. Ha pedig a pad felett fújjunk el, akkor ott lép fel nyo-



70. A szárny felső oldalán összesűrűsödő levegő sebesebben áramlik. Nyomáscsökkenés, emelőerő keletkezik

máscsökkenés: a pad a levegőbe ugrik, ezért nem fordul fel. — A tízfilléres felett sebesen áramló levegőben is nyomáscsökkenés, felfelé szívó hatás keletkezik.

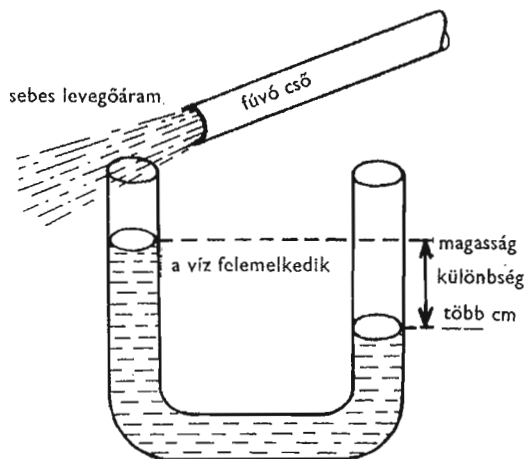
Így mérhetjük a nyomáscsökkenés nagyságát

Kísérlet. Dugjunk két üvegcső- vagy műanyagcső-darabkát a 71. ábra szerint meghajlított gumicső végébe, aztán öntsünk bele vizet. A víz egyenlő magasan áll mindkét csőben. Mindkét csővég felett nyugszik a levegő.

Gumicsődarabkával, vagy cső alakúra hajlított papirossal fűjünk el az egyik csővég felett. Most tehát az **egyik csővég** felett nyugszik a levegő, de a **másik csővég felett sebesen áramlik**. Ebben a csőben felemelkedik a víz!

Ez azt bizonyítja, hogy **ahol áramlik a levegő, ahol szél fúj, ott kisebb a levegő nyomása**, mint környezetében, ahol a levegő nyugalomban van.

Tanulságos eredmények! Nem is kell megerőltetnünk magunkat, hogy olyan erővel fűjünk el a cső vége felett, hogy például 2 cm-rel emelkedjék benne a víz. Ez annyit jelent, hogy a nyomáscsökkenés

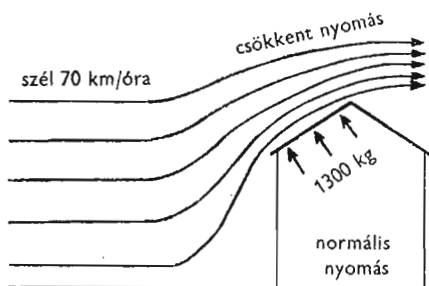


71. Ezzel az egyszerű eszközzel meg is lehet mérni a nyomáscsökkenés nagyságát

akkora a vízfelszín felett, hogy 2 cm magas vízoszlopot tart fenn, más szóval a nyomáscsökkenés 2 g/cm^2 .

A városok föld alatti csatornahálózatához függőleges aknák vezetnek. Az aknanyílásokat elzáró vas fedőlemezekkel gyakran találkozunk a járdákon. Tegyük fel, hogy egy ilyen fedőlemez felülete 1 m^2 ($= 10 \text{ ezer cm}^2$). Tegyük fel, hogy olyan sebes szél fúj felette, mint amilyen sebesen előbbi fújásunkban áramlott a levegő. Akkor ezt a fedőlapot alulról 10 ezerszer $2 \text{ g} = 20 \text{ kg}$ erő emeli felfelé. Bizony kicsapódhat a fedőlap, és az aknába zuhanhat a járókelő.

Érthető, hogy viharos erejű szélben felcsapódnak a padlásablakok, lerepülnek a cserepek. Például a 72 km/h gyorsvonati sebességű viharos szélben egy $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ nagyságú tetőfedő lemezre kb. $2,5 \text{ kg}$ emelőerő hat. Ez nagyobb, mint a súlya. A $10 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ felületű tetőre pedig kb. 1300 kg nagyságú emelőerő (72. ábra).



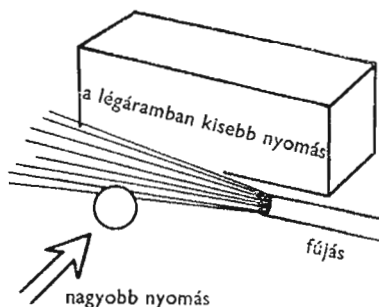
72. A ház felett sebesen áramló levegő nyomáscsökkenést okoz. A házban belül nyugszik a levegő, ott nagyobb a légnyomás. Ha erős szél fúj, akkor a belülről kifelé ható nyomás olyan nagy lehet, hogy leszorítja a cserepet, leszakíthatja a háztetőt

Tehát ezeket a tárgyakat nem az alájuk fújó szél emeli fel, hanem a fölöttük elfújó szél okozta nyomáscsökkenés.

Térjünk vissza a levegőbe ugró pénzdarabhoz. A 10 filléresnek a súlya 1 g , felülete $2,5 \text{ cm}^2$. Mekkora erő emeli fel, ha csak olyan sebes légáramot fújunk el felette, amely a csőben 2 cm vízfelszín-emelkedést okoz?

A 10 filléres felett 2,5-szer $2 \text{ gr} = 5 \text{ gr}$ súllyal csökken a levegő nyomóereje. Ennek következménye az, hogy 5 g erő emeli az 1 g -os 10 fillérest. Ez ötször akkora erő, mint a saját súlya. Nem csodálkozhatunk, ha a pénz a levegőbe ugrik!

Kísérlet, megdöbbentő következményekkel (73. ábra). Tegyük az asztalra egy papírdobozt, és a doboz oldalától 4-5 cm távolságban egy pingponglabdát. Gumi- vagy papírcsővön át fújjunk erősen a labda és a doboz oldala közé. Azt várnánk, hogy a közéljük fújt levegő eltaszítja a labdát a doboztól. Az ellenkezője következik be: a labda beleugrik az áramló levegő útjába, és hangos koppanással vágódik neki a doboznak. Ugyanis az **áramló** levegőben csökkent a nyomás, és a környező **nyugvó** levegő **nagyobb nyomása befelé lökte a labdát.**



73. A nyugvó levegő nagyobb nyomása a doboz oldalához löki a labdát

Ezt a kísérletet minden iskolában kötelezően be kellene mutatni. Az emberek nem is gondolnak arra, hogy ez a jelenség milyen gyakran ismétlődik meg a mindennapi életben és mennyi halálos áldozata van. A most következő három példát meséljük el másoknak is.

a) Halál a vasúti töltésen. Gyakran olvasható, hogy a vasúti töltésen haladó embert „elgázolta” a gyorsvonat. — Talán a sínek között haladt a szerencsétlen? Nem! A vasúti töltés szélén haladt. Ámde a vasút magával ragadja a levegőt, tehát az ember és vonat között sebesen áramlott a levegő. Itt kisebb lett a légnyomás, az ember a vonathoz lökődött. Így került a kerekek alá.

A sebesen mozgó tárgy mintegy maga felé vonzza, „szívja” a közeli tárgyat.

b) Veszély a járda szélén. A forgalmas utcák átkelőhelyein közvetlenül a járda szélén csoportosulnak az emberek, és várják a zöld

jelzést. Közben autóbuszok és más testes járművek suhannak el nagy sebességgel a várakozók mellett. Így sebes légáramlás keletkezik a jármű és a várakozók között. Fellép a nyomáscsökkenés, a szívóhatás, a járdán várakozó a járműhöz vágódik, megtörténik a „gázolás”.

c) Szerencsétlenség a vízen. Jön a hajó a Dunán vagy a Balatonon. A csónakázók, a fürdőzők szeretnek a hullámokon ringatózni, ezért a hajó közelébe igyekeznek. Igen, de a hajó teste magával sodorja a környezetében levő vizet, itt is nyomáscsökkenés, „szívóhatás” lép fel. A közeli csónak a hajó oldalához csapódhat, felborul, az úszóval baleset történhet.

Különös röppálya

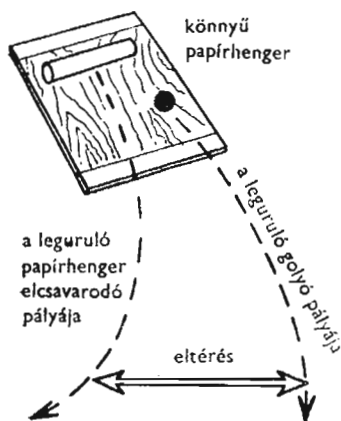
Fél ív géppapírt hosszabbik oldala mentén hajlítsunk cső alakúra. A papírcső átmérője legyen 2-3 cm. A cső oldalán szabadon maradó papírszélrt ragasszuk le. Így egy kb. 20 cm hosszú és 2-3 cm átmérőjű könnyű papírhengerünk lesz.

1. Kísérlet: a szabályos esési görbe. Egy rajztáblát vagy egyéb, hosszabb lemezt emeljünk egyik kezünkkel magasra, és tartsuk ferdén, hogy lejtő legyen. Másik kezünkkel tegyünk a lejtő felső végére egy kavicsdarabot. A kavics végigcsúszik a lejtőn, azután pedig szabadon esik. Esés közben a 74. ábra szerinti jól ismert esési görbét írja le.

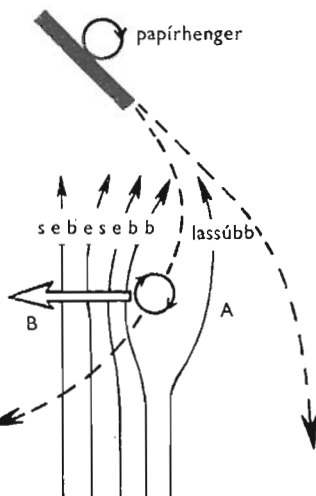
2. Kísérlet: a csavart pálya. Tegyük most papírhengerünket a felémelt rajztábla felső részére, és engedjük el. A henger végiggyurul a rajztáblán, forgásba jön. A lejtő végétől szabadon esik a forgó henger. — De meglepődve látjuk, hogy nem az előző kísérletben megfigyelt esési pályán halad, hanem egy attól elcsavarodó, különös esési pályán.

Ha a rajztáblát elég magasra tartjuk (vagy székre állunk), akkor lehet, hogy a forgó henger esési pályája annyira elkanyarodik, hogy még a lejtő alsó szélétől húzott függőleges vonal talppontján is túl esik — bal felé.

Magyarázat: nézzük a 75. ábrát. Miközben a forgó henger esik vagy repül — elszuhan mellette a levegő. Az *A* betűvel jelzett oldalon



74. A forgó papírhenger nem a megszokott esési pályán esik, hanem egy tőle eltérő, elcsavarodó, különös pályán



75. A forgó papírhenger *B* oldalán sebesebben áramlik a levegő, mint az *A* oldalán. Ezért a *B* oldalon kisebb a légnyomás, a test elmozdul a *B* irányba

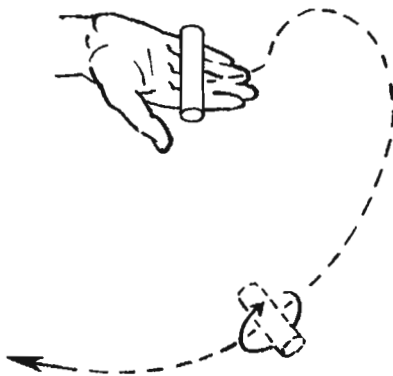
a henger forgásiránya és a levegő elszuhasánának iránya ellenkező. Ezért az *A* oldalon a henger forgása lassítja az elszuhasó levegő sebességét a hengerhez képest. — Éppen ellenkező a helyzet a henger *B* jelzésű oldalán. Itt megegyezik egymással a henger forgásiránya és az elszuhasó levegő iránya. Tehát a henger forgása gyorsítja az elszuhasó levegő sebességét. Ezért a *B* oldalon sebesebben szuhas el a levegő a henger mellett, mint az *A* oldalon.

De már előző kísérleteinkkel kimutattuk azt, hogy ahol a levegő sebesebben áramlik, ott nyomáscsökkenés, szívóhatás lép fel. Tehát *A*-tól *B* felé irányuló nyomás hat a hengerre. Ezért a henger esési pályájától a *B* oldal felé tér el, amint ezt az ábrán a vastag nyíl mutatja.

Már kétszáz évvel ezelőtt is észrevették, hogy a mozsárágyúkból kilőtt golyók sokszor erősen eltértek attól a pályától, amire számítottak. Az is megesett, hogy az előre kilőtt golyó egyszerűen visszafordult, és az ágyú mögött hullott le. Mivel ez még a tüzerek életét is veszélyeztette, kívánatos volt a jelenség okát megtalálni. A különös röppályát egy **Magnus** nevű egyetemi tanár magyarázta meg 1852-ben. Ezért adták a kísérleteinkben megismert jelenségnek a **Magnus-hatás** nevet.

Mi is meg tudjuk már magyarázni az ágyúgolyó különös viselkedését. A mozsárágyú csöve sima volt. Lövés közben a gömb alakú ágyúgolyó pörgésbe jött a cső falához történő súrlódás miatt. Ezért repülés közben jelentkezett a Magnus-hatás. Az egyes golyók felszínében, formájában mutatkozó kis különbségek miatt minden lövés-kor másként forgott a golyó, amit nem lehetett előre számításba venni.

Ma már **vontcsövű** ágyúink vannak. A csövön végigfutó lövedék gyors forgásba jön a hossz tengelye körül. Azonos töltet és lövedék-súly esetén a fordulatszám mindig ugyanaz. A fellépő Magnus-hatást tehát számításba lehet venni, és számításba is veszi a röppályaszámítás tudománya: a **ballisztika**.



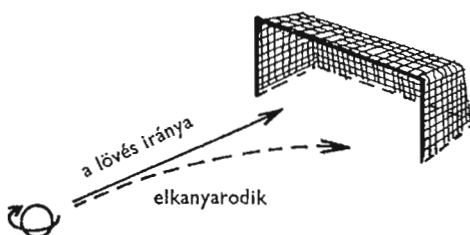
76. Dobjuk a papírhengert úgy a magasba, hogy tenyerünkön végigguruljon és forgásba jöjjön. — Feltűnően elcsavarodó pályán esik le

A forgó testek különös röppályáját láthatjuk a következő legegyszerűbb kísérletben is.

Kísérlet. Megszoktuk, hogy a függőlegesen felfelé dobott test függőlegesen esik lefelé is. Tegyük azonban a vízszintesen tartott tenyerünkre — ujjaink legyenek kinyújtva (76. ábra) — könnyű papírhengert (vagy pingponglabdát). Dobjuk fel függőlegesen úgy, hogy karunk lendítése közben végigfusson a henger tenyerünkön, ujjainkon. Meglepődve látjuk, hogy a papírhenger (labda) nem függőlegesen esik lefelé, hanem esési pályája eltér a függőlegestől — a pörgés irányában.

A csavart labda és a befőttesüveg

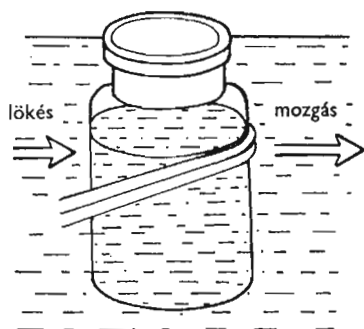
A nyomáscsökkenés jelenségét, a Magnus-hatást használja fel a labdarugó is, hogy becsapja a kapust (77. ábra). A labdát a bal sarok felé lövi. A kapus oda helyezkedik, de a labda nem követi az eredeti irányt, hanem röptében elkanyarodik, és a jobb sarokba vágódik! Ez a „csavart” labda. De a teniszjáték művészei is meg tudják hiúsítani azt, hogy az ellenfél helyezkedése eredményes legyen.



77. A „csavart” labda elkanyarodik a lövés irányától

Hogyan tudja a játékos a labdának „megmondani”, hogy röptében majd balra vagy jobbra kell elkanyarodnia? — Egy befőttesüveggel végzett kísérlettel megfejtethetjük a „csavart” labda titkát.

Kísérlet. Kb. félliteres befőttesüvegbe gyömöszöljünk összegyűrt papírost. A papír elég lazán álljon, de azért jól súrlódjék az üveg belső oldalához. Ezután öntsünk az üvegbe annyi vizet, hogy biztosan ússzék a fürdőkád vizén.

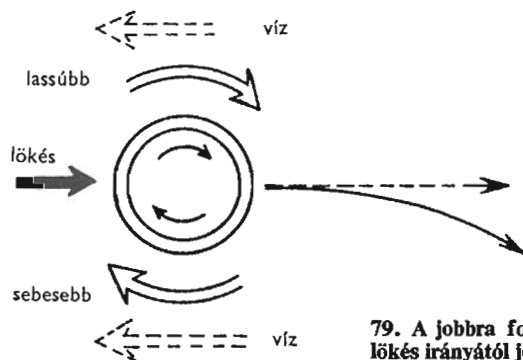


78. A befőttesüveg a lövés irányában egyenes pályán mozog

Ez a befőttesüveg lesz a mi futball-labdánk. Ezzel utánozzuk („modellezzük”, „szimuláljuk”) a labda viselkedését. Ha ujjunk hegyével meglökjük a 78. ábra szerint, akkor az üveg egyenes irányban mozog, ugyanúgy, mint a „tanulatlan” labda, a **nem** csavart labda.

De tegyük csak ujjainkat a befőttesüveg szájára, fogjuk meg, és csavarítsunk rajta, hozzuk forgásba. Azután lökjük meg ujjunk hegyével egy pillanatig tartó hirtelen lökessel (79. ábra).

Az üveg elindul a lövés irányában. De csakhamar elkanyarodik az egyenes iránytól. Ha az óramutató járásával egyező irányban pörgettük meg (mint az ábrán), akkor a lövés irányától ugyanilyen irányban (jobbra) térül el. Ha bal felé pörgettük meg, akkor bal felé kanyarodik el.



79. A jobbra forgó befőttesüveg pályája a lövés irányától jobbra kanyarodik el

Képzeljük most a befőttesüveg helyébe a futball-labdát. A játékos úgy rúgja meg, hogy forgásba jöjjön, és pörögve repüljön a levegőben. — Az elmondottakból következik, hogy ennek a forgó labdának is el kell térnie az egyenes iránytól, mégpedig a forgás irányában. — Így azután a kapu bal sarka irányába induló labda megcsalja a kapust, és a jobb sarokban köt ki.

A kísérletünket részletesebben a 79. ábra magyarázza. Ott látjuk a jobbra forgó befőttesüveg kör alakú keresztmetszetét, amint elindul a lökés irányában (szaggatott vékony nyíl).

Ha az üveg nem forogna, akkor a mellette elsuhanó víz sebessége ugyanakkora lenne az üveg mindkét oldalán. — De ha az üveg forog, akkor az üveg egyik oldalán az üveg forgásának iránya ellenkező, mint az elsuhanó vízé (az ábra felső oldalán). Tehát az üvegnek ez az oldala **szembe** forog a szembejövő vízzel. Ezáltal **lelassítja** az üveg mellett elsuhanó víznek a sebességét.

Az ellenkező oldalon (az ábra alsó oldalán) pedig az üveg oldala ugyanabban az irányban mozog, mint a mellette elsuhanó víz, ott tehát nő az elsuhanó víz sebessége.

De ahol nagyobb az áramlás sebessége, ott **nyomáscsökkenés** keletkezik!

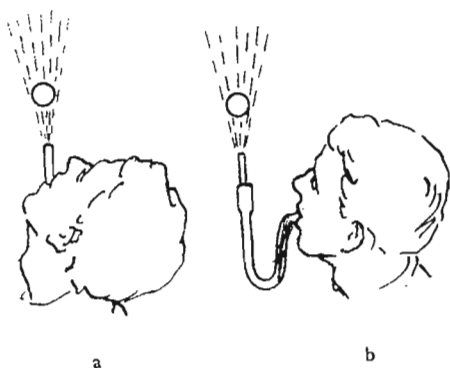
Ennek következtében az üveg elmozdul a kisebb nyomás irányában: pályája az egyenes iránytól jobbra hajlik el (folytonos vonal).

Miért táncol a labda a lég- és a vízsugáron? Fújással lebegtetjük a labdát

Meglepően szép látvány a szökőkút vízsugarának tetején táncoló könnyű labda. Mintha „hozzáragadna” a vízsugarhoz. Még ha oldalt billen is, szinte visszaszívja valami erő. Miért marad a labda lebegve a vízsugáron? Miért nem esik le róla?

Talán még ennél is meglepőbb a levegősugáron lebegő labda (vagy felfújtt gumigömb). Ez azért feltűnőbb, mert ilyenkor csak a levegőnél súlyosabb testet látjuk lebegve ide-oda mozogni, de nem látjuk a légáramot, amely tartja a labdát.

Kísérlet. Készítsünk papírból körülbelül 10 cm hosszú csövet. A cső nyílásának átmérője 4-5 mm legyen. A 80. ábra szerint tartsuk a csövet függőlegesen. Fújjunk bele erősen, miközben a cső felső nyílásához egy pingponglabdát tartunk és eleresztjük. A labda a cső nyílása felett néhány centiméter magasságban lebegve marad mindaddig, amíg bírjuk a fújást.



80. a) Néhány másodpercig lebegésben tarthatjuk a labdát. b) Kényelmesebben kísérletezhetünk, ha gumicső végébe illesztett csövecskén át fújjunk

Természetesen a saját készítésű papírcső helyett használhatunk bármilyen más, 4-5 mm belső átmérőjű csövet: gumicsődarabkát, műanyag csövecskét.

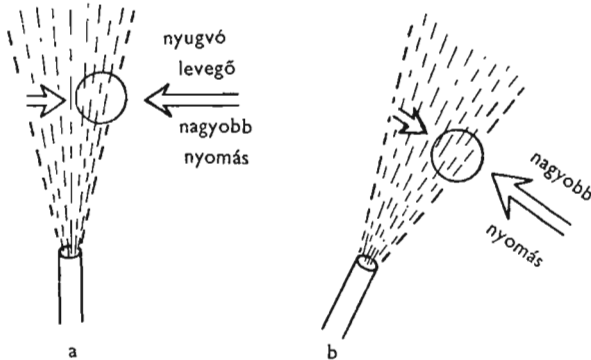
Minél könnyebb a labda, annál magasabban lebeg a cső felett, és annál gyengébb fújásra van szükség. Ezért a pingponglabda (átmérője 40 mm) helyett ajánlatosabb a játékboltokban kapható kisebb átmérőjű (20-30 mm) celluloidgömböcskével kísérletezni.

Kényelmesebb testtartásban végezhetjük a kísérleteket és jobban láthatjuk a labdát akkor, ha egy gumicső végébe illesztjük a megfelelő nyílású csövecskét, és így fújjunk bele. — Még a kissé rézsútosan fújt légáramban is lebegve marad a pingponglabda. — Ha pedig például egy elhasznált golyóstollbetétből lemetszett, 2 mm átmérőjű fémcsövecskét illesztünk a gumicső végébe, akkor az említett könnyű celluloidlabdácska még hosszabb ideig marad lebegve rézsútos fújásunkban.

Miért marad lebegve a labda?

Az, hogy a fölfelé fújtt légáram felemeli a labdát, — természetes. De miért nem esik ki a légáramból a labda?

a) Tegyük fel, hogy labdánk valóban ki „akar” esni a függőleges légáramból (81. ábra), és oldalának egy része már ki is áll belőle. Mi történik most?



81. a) A függőleges légáramból kiszökni próbáló labdát a környező nyugvó levegő nagyobb nyomása visszataszítja a légáramba. b) Az esni akaró labdát a nyugvó levegő nagyobb nyomása függve tartja a ferde légáramban

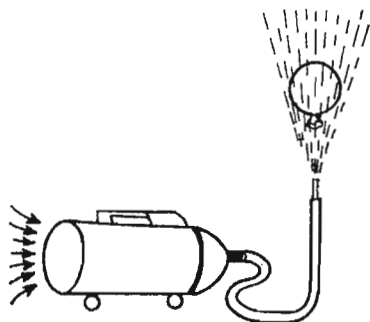
Látjuk az ábrán, hogy a labda bal oldalán sebesen áramlik a levegő. A másik oldalán pedig nyugalomban van. De tudjuk, hogy az áramló levegőben nyomáscsökkenés keletkezik. Ezért a labdának a légáramban maradt felületére kisebb nyomás hat, a légáramból kiálló felületén pedig nagyobb a nyomás. Ezért a nyugvó levegő nagyobb nyomása visszatolja a labdát a légáramba.

b) Ferde légáram esetén hasonló a helyzet.

Gyönyörű kísérletek — Tüdőnk helyett porszívóval

1. Kísérlet: magasan lebeg a labda, a gumigömb. Tüdőnkkel nem tudunk 4-5 s-nál tovább elegendő erősségű légáramot fújni. Használjuk a fújásra a porszívót. Ezeket úgy készítik, hogy fújásra is alkal-

masak. — Vegyük ki a porszívóból a porzsákat. Ez a nyílás maradjon szabadon. A porzsákjától megszabadított gép majd ezen a nyíláson át beszívja a levegőt, a másik nyíláson pedig kifújja. A kifújó nyíláshoz erősítsük a porszívó hajlékony csővezetékét (éppen ellenkezőleg, mint a porszívó szokásos használatakor). A csővezeték végét irányítsuk felfelé (82. ábra). Hozzuk működésbe a gépet. A csővel erős, egyenletes és nagy sebességű légsugár indul felfelé.



82. Vegyük ki a porzsákat a porszívóból, a csövet pedig illesszük a kifújó nyílásra. Így igen erős légáramot állíthatunk elő kísérleteinkhez

Ebben a légáramban 1-2 m magasan lebeg a pingponglabda, és még magasabban a felfújható játékgömb.

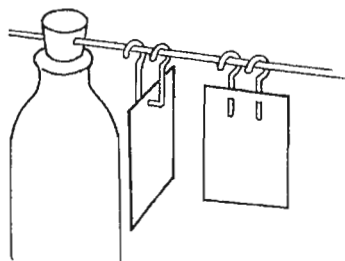
Gyönyörű látvány, amikor még a rézsútos légáramban is függve marad a labda, a gumigömb.

2. Kísérlet. Ahol vízvezeték van, ott könnyen előállíthatunk alkalmas **vízugarat** is. A vízcsapra gumicsövet húzunk. Ennek másik végébe 2-4 mm nyílású (fém-, műanyag, üveg-) csövecskét dugunk, és szorosan körülkötözzük. Óvatosan eresszük meg a vizet úgy, hogy 50-70 cm magasra szökjön szökőkútszerűen. — A vízugarra helyezett pingponglabda táncol a vízugaron, és lebegve marad.

Kísérletek a közegellenállásra

A lebegő lapok

Egy vízszintesen álló kötőtűre a 83. ábra szerint függesztünk fel, meghajlított, vékony drótok segítségével, két egyenlő nagyságú, vastagabb papírlapot. A lapok kb. fél levelezőlap nagyságúak lehetnek. Ha bármelyiket kimozdítjuk nyugalmi helyzetéből és szabadon engedjük, lengeni kezd.



83. Mozdítsuk ki a papírlapokat nyugalmi helyzetükből. Az, amelyik lapjával mozog szemben a levegővel, feltűnően hamar megáll, mert erre a lapra nagyobb a levegő ellenállása

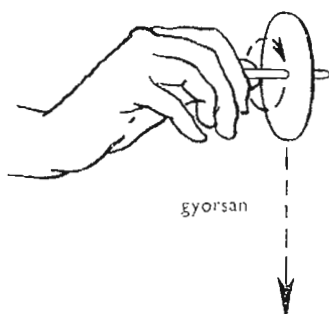
Kezünkkel mozdítsuk ki mind a kettőt egyenlő messzire nyugalmi helyzetéből, és engedjük el őket. Az, amelyik lapjával mozog a levegővel szemben, meglepően hamar megáll. A másik élével hasítja a levegőt, ez sokkal tovább leng.

Kísérletünk azt bizonyítja, hogy a levegő annál jobban akadályozza a testet mozgásában (annál nagyobb a levegő ellenállása), minél nagyobb a testnek a haladás irányára merőleges keresztmetszete.

A gyufa tengelyű pörgő papírkorong

1. Kísérlet: minél nagyobb a testnek a mozgás irányába eső keresztmetszete, annál nagyobb a közegellenállás.

a) Pörgessük meg a korongot úgy, hogy a tengelye vízszintesen álljon (84. ábra), és ejtsük szabadon. A korong élével hasítja a levegőt, a haladás irányába eső felület roppant kicsi — a korong gyorsan esik!



84. A megpörgetett és élével eső korong gyorsan esik

b) Most pörgessük meg a korongot **függőlegesen** álló tengellyel (korongja vízszintesen áll) és ejtsük szabadon (l. 85. ábra). A korong esése közben lapjával halad a levegővel szemben, lassabban halad.

A második esetben sokkal nagyobb a testnek a mozgás irányába eső keresztmetszete, mint az első esetben, sokkal nagyobb az esését akadályozó közegellenállás is, ezért esik lassabban.

2. Kísérlet: az eső korong mozgása egyenletes. Pörgessük meg a gyufaszál tengelyénél fogva vízszintes helyzetben korongunkat, és ejtsük szabadon. — Szemmel láthatóan egyenletesen esik.

A légritka térben eső test esése közben egyre gyorsulva esik, sebessége egyre nő.

A levegőben eső test sebességének növekedése ellenben egyszer csak megszűnik, és a test (például az esőcsepp) ettől a pillanattól kezdve egyenletes mozgással esik. Minél nagyobb a testnek a mozgás irányára merőleges felülete és minél kisebb a súlya, annál rövidebb idő alatt lesz a mozgása egyenletes.

Mikor válik a korong mozgása egyenletessé? — Akkor, amikor már nem hat rá gyorsítóerő, vagyis amikor a korong súlya éppen akkora lesz, mint az ellenkező irányban ható közegellenállás.

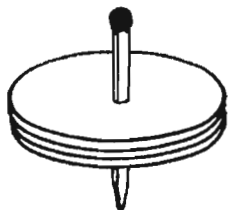
Ha tehát pörgettyűnk (vagy bármilyen test) egyenletesen esik, akkor **a ráható közegellenállás éppen akkora, mint az eső test súlya.**

A következő két kísérletben ennek a törvényszerűségnek alapján megmérjük az eső pörgettyűre gyakorolt közegellenállást. Az egyik esetben a pörgettyű sebessége kétszer akkora lesz, mint a másik esetben.

**Hogyan függ a közegellenállás nagysága
a mozgó test sebességétől? —
Miért nehéz széllel szemben kerékpározni?**

1. Kísérlet. Ejtsük szabadon a függőleges tengely körül forgó papírpörgettyűnket 1,5 m magasból, és egyenletes számlálás közben állapítsuk meg, hogy mennyi idő alatt ér földet (például annyi idő alatt, amíg ezt kimondjuk: egyet-kettőt).

Vágjunk ki 3 darab ugyanakkora korongot abból a papirosból, amiből pörgettyűnk korongja készült, és ezeket is helyezzük pörgettyűnk lapja fölé (85. ábra). Pörgettyűnk súlya most 4-szer akkora, mint előbb volt (a gyufaszáltól eltekintünk).



85. Négy darab, egyenlő nagyságú papírkorongot tegyünk egymásra. Ez a négyszer súlyosabb pörgettyű kétszer sebesebben esik

2. Kísérlet. Pörgessük meg ezt a négyszeres súlyú korongot, és ejtsük szabadon, ugyanakkora magasságból, ugyanabban a helyzetben, mint előbb. Számlálással megint megállapíthatjuk az esési időt. Azt találjuk, hogy most **fele** annyi ideig esik, mint előbb (csak addig, amíg kimondtuk ezt a szót: egyet).

A második esetben tehát a korong sebessége **kétszer** akkora volt, mint az első esetben.

De mekkora volt a második esetben a levegő ellenállása erre a kétszeres sebességgel egyenletesen eső korongra?

Négyszer akkora, mint az első esetben. Hiszen a korong súlya most négyszer akkora, mint előbb, és egyenletes eséskor a közegellenállás nagysága egyenlő az eső test súlyával.

Kimutattuk, hogy **ha egy test 2-szer sebesebben halad, akkor $2 \times 2 = 4$ -szer nagyobb közegellenállás akadályozza mozgását.**

Ugyanúgy kimutatható, hogy ha egy test 3-szor sebesebben halad, akkor $3 \times 3 = 9$ -szer nagyobb közegellenállás akadályozza mozgását.

Jó úton, szélcsendes időben szinte magától megy a kerékpár, és órákig tartó kerékpározás után is alig érzünk fáradtságot. De ha csak gyenge szél fúj is szembe, igen megnehezedik a kerékpáros munkája. Mert tegyük fel, hogy csak olyan sebességű szél fúj szembe, mint amilyen sebesen haladunk, ekkor sebességünk a levegőhöz képest kétszer akkora lesz, mint előbb volt, de a mozgásunkat akadályozó közegellenállás 4-szer lesz nagyobb.

A közegellenállás annak a közegnek a sűrűségétől is függ, amelyben mozgunk. A víz mintegy 800-szor sűrűbb, mint a levegő, ezért a vízben mozgó járművek 800-szor nagyobb ellenállással találkoznak, mint a levegőben. Ez az oka annak, hogy még lépésben is csak nagyon nehezen tudunk haladni, ha mellig vízbe merülünk.

Fajsúly és sűrűség

Régi tojás, friss tojás

Kísérlet. Egy befőttesüvegbe öntsünk **tiszta** vizet. Ha tojásokat teszünk bele, általában a víz fenekére süllyednek, de a nagyon régi tojás a felszínen marad.

Mi ennek az oka? — A tojás tompa végén, a héj alatt, egy levegővel telt üreg van. Ez az üreg annál nagyobb, minél régibb a tojás, minél jobban kiszáradt. De minél nagyobb a levegőtér, annál könnyebb a tojás. Ha bele tudnánk látni a tojás belsejébe, akkor már a levegőüreg nagyságából következtetni tudnánk arra, hogy milyen öreg a tojás. De ha nem láthatunk is bele, a víz elárulja. A nagyon régi, a könnyű tojás úszik a víz felszínén, mert **átlagos sűrűsége kisebb, mint a víz sűrűsége.**

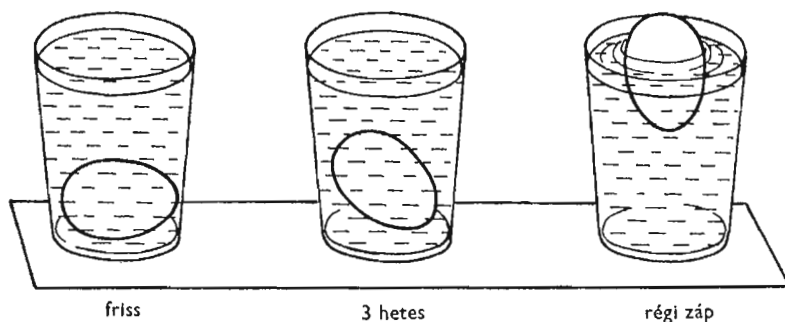
A tojások kor szerinti osztályozása sós vízzel

A friss tojások a tiszta víz fenekén maradnak. **Hogyan lehet megállapítani azt, hogy közülük melyik a régibb, melyik a frissebb?**

Kísérlet. Hintsünk sót a vízbe, és várjunk, amíg elolvad. A sózott víz egyre sűrűbb lesz. Ha annyi sót oldunk fel, hogy a víz sűrűsége nagyobb lesz, mint valamelyik tojásé, akkor az a tojás a víz felszínére emelkedik. Ennek a fajsúlya a legkisebb, és valószínű, hogy ez a legrégebb.

Ha tovább sózzuk a vizet, akkor a fenekén maradtak közül megint felemelkedik valamelyik. Így aránylag gyorsan és könnyen szétválogathatjuk a fajsúlyuk (közelítőleg frissességük) szerint a tojásokat. (Még egyszerűbb és gyorsabb az eljárás, ha nem sót hintünk a vízbe, hanem nagyon sűrű sós vizet készítünk egy pohárban, és ezt öntjük fokozatosan a tojások edényének vizébe).

Tájékoztatásul megjegyezhetjük a következőket: készítsünk 10%-os sós vizet. (Egy vizespohárba kb. 2 dl, azaz 200 gr víz fér. Ennek 10%-a 20 gr. Keverjük el 20 gr sót egy vizespohár vízben — 10 százaléknyi sós vizünk lesz.) 20 gr-ot nyom kb. egy lesimított evőkanálnyi só. A friss tojás még a fenékre süllyed a 10%-os sós vízben, a 3 hetes éppen hogy csak nem emelkedik fel, a régebbi vagy záptojás a felszínre jön (86. ábra).



86. Így tudunk 10%-os sós víz segítségével megközelítően tájékozódni a tojás kora felől

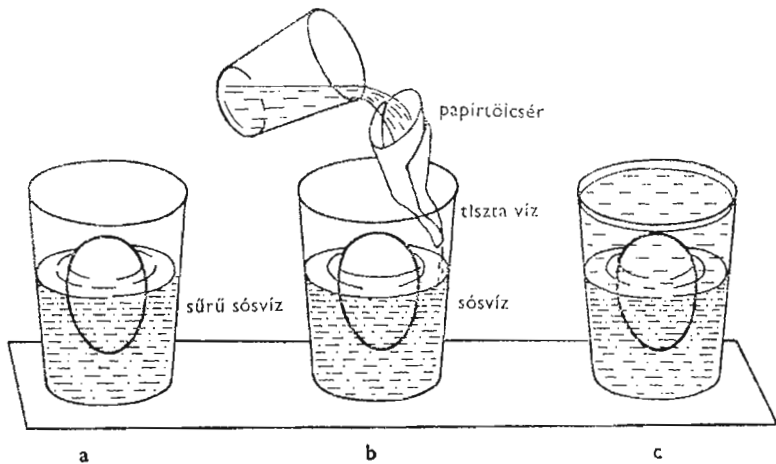
A vízben lebegő tojás és a léghajó

Ha olvastunk már az újabb léghajófelszállások történetéről, emlékezhetünk rá, hogy a felszállások reggel, sőt leggyakrabban hajnalban történnek, amikor leghidegebb a levegő. Azt is tudjuk, hogy a léghajók csak bizonyos magasságig tudnak felemelkedni.

Miért? — Nos, tojásunk válaszol ezekre a kérdésekre. Mindenekelőtt készítsünk tojásból léghajót. A léghajó a környező közegben, a levegőben lebeg, tojásunknak pedig az őt környező közegben, a sós vízben kell lebegve maradnia.

Kísérlet: így állítunk elő lebegő tojást. (Első próbára is azonnal sikerül.) Egy üvegedényt félig töltünk vízzel, és annyi sót keverünk bele, hogy a beletett tojás feltétlenül **ússzék** a sós víz felületén. Ezután papírtölcsérrrel óvatosan tiszta vizet öntünk a sós víz fölé (ne keveredjenek össze!). Miközben a víz felszíne emelkedik, mi is egyre feljebb emeljük a tölcserőveget (87. ábra).

Így tehát a tiszta vizet rétegezzük a sós víz fölé. Azt pedig tudjuk, hogy a friss tojás a tiszta vízben nem emelkedik a felszínre, ezért a tojás lebegve marad a két, különböző sűrűségű vízréteg határán.



87. Napokig lebegő tojás — az első próbára

Meddig emelkedik a tojás? Alul sűrűbb a víz, mint a tojás, felül pedig ritkább. Természetes, hogy a tojás mindaddig emelkedik a ritkább környezet felé, míg végre olyan magasságot nem talál, ahol a környezet átlagos sűrűsége megegyezik a tojás átlagos sűrűségével. Ott lebegve marad mindaddig, amíg a viszonyok megváltoznak.

Milyen magasra emelkedik a léghajó? A légkör alsóbb részén sűrűbb a levegő, felfelé egyre ritkul. A sűrűbb levegőben a léghajó felfelé emelkedik, amíg olyan magasságot nem ér el, ahol a levegő átlagsűrűsége ugyanakkora, mint a léghajóé. Feljebb nem emelkedhet.

Minél sűrűbb az alsó réteg, annál sebesebben emelkedik a léghajó, és annál magasabban találja meg az előbb említett határreteget. — De mikor legsűrűbb alul a levegő? — A hajnali hűvösségben. — Ezért szállnak fel hajnalban a léghajók.

Láthatóvá tesszük a láthatatlant

Mennyi ideig marad lebegve a tojás? Figyeljük meg félnaponként a tojás helyzetét úgy, hogy egy papírcsíkot ragasztunk a pohár oldalára, és azon mindig megjelöljük a tojás felső csúcsának helyzetét.

Azt tapasztaljuk, hogy a tojás napról napra magasabbra emelkedik, és 2-3 nap múlva felbukkan a víz felszínére.

Mit mutat ez? Azt, hogy az alul levő, nehezebb sós víz lassan elkeveredik a felette levő tiszta vízzel, és a tojás — mint valami műszer — jelzi, hogy milyen mértékben történt már meg a keveredés, sőt azt is megmutatja, hogy **milyen sebesen** történik a keveredés.

Mi ebben az érdekes és mi a láthatatlan? Gondoljuk csak meg: az alul levő sós vízben vannak a sómolekulák, amelyek sokkal súlyosabbak, mint a vízmolekulák. Helyes, gondoljuk, éppen ezért marad a sós víz alul, mint ahogy a víznél súlyosabb kő is a fenéken marad.

Ámde a különös az, hogy míg a kő örökké a fenéken marad, a víznél súlyosabb sómolekulák **felszállnak** a vízben, ahelyett hogy alul maradnának. Ez igazán meglepő, de bizonyos, hiszen a tojás emelkedése bizonyítja. A tojás azért emelkedik, mert körülötte egyre sűrűbb lesz a víz, a beléje jutó sómolekuláktól.

Hogyan lehetséges ez, amikor nem keverjük a vizet, hanem napokig mozdulatlanul állni hagyjuk? Ennek magyarázata az, hogy a sómolekulák állandó mozgásban vannak, minden irányban mozognak, ezért egyre több jut be közülük a felettük levő vízbe. — **Az anyag lényeges tulajdonsága az, hogy a legkisebb részecskéi szakadatlanul állandó mozgásban vannak.**

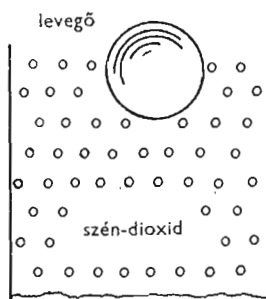
Az anyag szabad szemmel láthatatlan molekuláinak ezt az örökös mozgását tette szinte szemmel láthatóvá az óráról órára emelkedő tojás. — Az ilyen jelenséget, amikor az egymással érintkező különböző anyagok molekulái keverednek, diffúciónak nevezzük. (Diffundo — latin szó, jelentése: szétáradni.)

Levegő töltésű lebegő szappanbuborék

Ha szappanbuborékot fújunk, az nem emelkedik, hanem alácsúszlyed a levegőben, hiszen fajsúlya nagyobb, mint a környező levegőé.

Ha azt akarjuk, hogy lebegve maradjon, a levegőnél nehezebb gázba kell vinni. Ilyen gáz a szén-dioxid, amely 1,53-szor nehezebb, mint a levegő. Szén-dioxidot könnyű előállítani.

Kísérlet. Egy lábos vagy tál fenekére néhány darab krétát teszünk vagy szódabikarbónát hintünk, és ecettel öntjük le. Élénk pezsgésben szénsav fejlődik (4 gr szódabikarbónából 1 liter szén-dioxid-gáz). A nehezebb szén-dioxid kiszorítja a levegőt az edényből. — Ejtsünk az edénybe levegővel töltött szappanbuborékot (88. ábra).



A buborék a levegőben alámerülne, a szén-dioxidban pedig felfelé szállna, ezért a két gáz határfelületén lebegve marad éppen úgy, mint a tojás a sós víz és a tiszta víz határán. A buborékot ne magasról, hanem közvetlen közelről ejtsük az edénybe.

88. Szén-dioxiddal telt edényben a szén-dioxid tetején úszik a szappanbuborék

Mennyi a pálinka alkoholtartalma?

Jó tudni, hogy mennyi annak a valódi, kisüstön főtt pálinkának az alkoholtartalma, amit eladásra kínálnak. Az sem érdektelen, hogy a zárt palackban vett rum, barackpálinka vagy denaturált szesz valóban annyi fokos-e, amennyi az üvegre van írva.

Mert bizony könnyen érheti meglepetés az embert. Egyszer a mérés azt mutatta, hogy a „kimért” denaturált szesz alkoholtartalma csak 82 % volt a „garantált” 96% helyett.

Ezt az eredményt közölte az üzlet tulajdonosával. Nagyon elcsodálkozott. „Ez lehetetlen!” Azonnal keresni kezdte a hitelesített szesz-mérőt. — Természetesen nem találta.

Ilyen mérés házilag is könnyen elvégezhető. Nem kell hozzá más, mint egy próbacső, egy darabka milliméterpapír, de szükség esetén négyzetes beosztású füzetlap is megfelel.

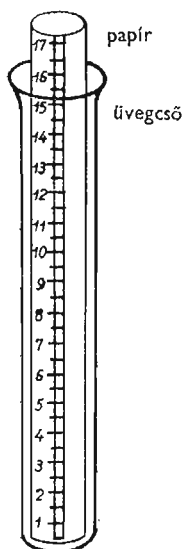
A próbacső (kémcső) annál alkalmasabb, minél szűkebb átmérőjű a hosszához képest. A következő mérésekben egy 16 cm hosszú és 1,5 cm átmérőjű kémcsövet használtunk.

Az eszköz készítése

Egy milliméterekre osztott papírcsíkot henger alakúra hajtunk, és a próbacsőbe dugjuk. Ügyeljünk arra, hogy a papír egészen a cső fenekéig érjen, és alsó vége az egyik centimétert jelző vonallal kezdődjék. Mielőtt a papírhengert a csőbe dugjuk, a fenékhez érő végétől kezdve megszámozzuk rajta a centimétereket (89. ábra).

Ezután a papírhenger nyílásán át a csőbe sörétet (esetleg kavicsot vagy homokot) szórunk. Ennek célja az, hogy a cső egyenesen álljon és a kellő mélységig merüljön a folyadékba. Annyi nehezéket juttasunk a csőbe, hogy ha tiszta vízbe állítjuk, akkor hosszának mintegy 3/4 részéig merüljön a vízbe. Ha csövünk például 16 cm hosszú, akkor kb. 10 cm mélyre merüljön (90. ábra).

Merítsük most ugyanezt a csövet víznél ritkább anyagba, például pálinkába. A cső mélyebbre süllyed. Ha még kisebb sűrűségű anyagba,



89. A próbacsőbe milliméter beosztású, henger alakúra hajlított papírt dugunk

például tiszta szeszebe állítjuk, akkor még mélyebbre süllyed.

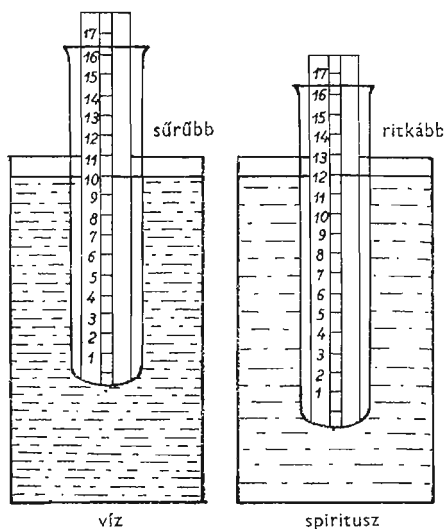
Mi ennek az oka?

Ha valamely test úszik a folyadékban, annyi folyadékot szorít ki helyéből, amelynek súlya akkora, mint az úszó test súlya. Üvegcsövünk tehát a ritkább folyadékból többet kell hogy kiszorítson, mint a vízből. Ezért a ritkább folyadékban mélyebbre merül, mint a vízben.

Minél több alkoholt keverünk össze bizonyos mennyiségű vízzel, a keverék sűrűsége annál kisebb lesz. De minél kisebb sűrűségű a keverék, annál mélyebbre merül el benne próbacsövünk. Láthatjuk, hogy a bemerülés mélységéből következtetni

lehet a pálinka alkohol-tartalmára. Minél mélyebbre merül a cső (a tiszta vízben való merüléshez képest), annál nagyobb a pálinka alkoholtartalma.

Eljárásunk lényege az lesz, hogy először is a lemerülés mélységéből kiszámítjuk az alkoholt tartalmazó folyadék sűrűségét, azután egy táblázatban megkeressük azt, hogy ennek a sűrűségnek mekkora alkoholtartalom felel meg.



90. Próbacsövünk a kisebb sűrűségű denaturált szeszeben mélyebbre merül, mint a vízben

A sűrűség mérése

Először is mérjük meg a denaturált szesz (spiritusz) sűrűségét, mert spiritusz a legtöbb háztartásban található. Keressünk elő egy olyan üvegedényt, amelyben majd próbacsövünket úszathatjuk. Ha nincs hengeres edényünk, egy karcsú befőttesüveg is alkalmas.

Az üvegedénybe vizet öntünk, és behelyezzük a próbacsövet. A csőben levő milliméterpapíron pontosan leolvassuk, hogy milyen mélyre merült a cső.

Kísérletünkben például 10 cm mélyre merült a cső.

A második lépés az, hogy kiöntjük a vizet és szárazra töröljük az edényt, ezután a vizsgálandó folyadékkal, jelen esetben denaturált szeszszel töltjük meg. A denaturált szeszbe is beletesszük a próbacsövet. Megint pontosan leolvassuk, hogy milyen mélyre merült.

Kísérletünkben például 12 cm mélyre merült a cső a spirituszban.

Ebből a két adatból egyszerű osztással kiszámíthatjuk a kérdéses folyadék sűrűségét.

$$a \text{ sűrűség} = \frac{a \text{ merülés mélysége a vízben}}{a \text{ merülés mélysége a kérdéses folyadékban.}}$$

Helyettesítsük be a mért adatokat:

$$a \text{ spiritusz sűrűsége} = 10 : 12 = 0,833.$$

Ugyanígy mérjük meg bármilyen egyéb folyadék (sós víz, tej, petróleum, benzin) sűrűségét is.

Sűrűségből alkoholtartalmat

Az alábbi táblázat megmutatja, hogy a víz és az alkohol keverékének esetén bizonyos sűrűségnek mekkora alkoholtartalom felel meg.

Sűrűség	Alkohol%	Sűrűség	Alkohol%
0,977	36	0,841	88
0,970	38	0,838	89
0,964	40	0,835	90
0,957	42	0,831	91
0,951	44	0,827	92
0,946	46	0,824	93
0,941	48	0,821	94
0,935	50	0,817	95
0,930	52	0,813	96
0,926	54	0,809	97
0,922	56	0,805	98
0,918	58	0,800	99
0,914	60	0,794	100

Kísérletünkben denaturált szeszünk sűrűségét 0,833-nak mértük. Ennek táblázatunkban 90,5% szesztartalom felel meg. A táblázat értékei térfogatszázalékot jelentenek. Ezért esetünkben 100 cm³ spirituszban 90,5 cm³ alkohol van. (Laboratóriumi vízzel szennyezett spiritusz szesztartalmát mértük.)

Ugyanennek a spiritusznak az alkoholtartalmát hitelesített szeszmérővel is megmértük, és 92,5%-nak találtuk. Íme, egyszerű mérési eljárásunkkal mintegy 2% pontossággal tudunk szesztartalmat mérni.

Valóban 40%-os a barackpálinka?

Ezután az üvegen levő címke állítása szerint 40%-os barackpálinka szesztartalmát mértük meg.

Próbacsövünk a barackpálinkában 10,35 cm-re süllyedt. Ezért a

pálinka sűrűsége $10 : 10,35 = 0,966$. Ennek a sűrűségnek a táblázat szerint kb. 39% szesztartalom felel meg.

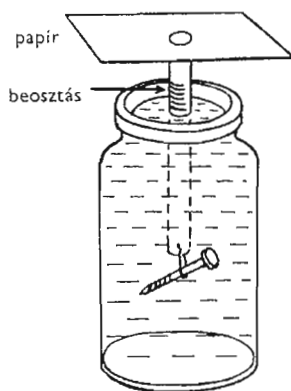
A hitelesített szesz mérő 40,5%-ot mutatott. Próbacsőves mérésünk hibája tehát kb. 1,5% volt. Egyszerű eljárásunkkal meg lehetünk elégedve.

Tájékoztatásul megjegyezzük, hogy a 40% szesztartalmú pálinka gyenge. Mértünk már 58%-os kisüsti barackpálinkát is. A borpárlatok és a kisüstön főtt pálinkák átlag 50%-osak. A szesz pedig akkor érdemes a nevére, ha legalább 60%-os.

A bor és a likőr alkoholtartalmát nem lehet a sűrűségmérés alapján megállapítani. A likőrben sok cukor van, a borban pedig a cukron kívül még számottevő mennyiségben egyéb anyagok is, amelyek igen nagy mértékben befolyásolják a sűrűséget. Különböző boraink alkoholtartalma 9%-tól (fehér homoki bor) 16%-ig (szamorodni) terjed, a söröké 3–5% között van.

A felhajtóerő alkalmazása: seprűnyélből levélmérleg

Kísérlet. Mérjük meg a rendelkezésünkre álló befőttesüveg magasságát (minél magasabb, annál jobb). Vágjunk le a seprűnyélből ilyen hosszú darabot (például 21 cm-t).



Töltsük meg az üveget vízzel, és állítsuk bele a seprűnyélrudacskát. Kb. félig fog bemerülni, de nem áll meg egyenesen. Ezért a rúd alsó végére erősítsünk annyi vasat (ólmot, más fémet), hogy a seprűnyéldarabunknak csak 1/3 része álljon ki a vízből (esetünkben 7 cm).

A rúd felső végére erősítsünk rajzszeggel vastagabb papirosdarabot. Ez lesz a mér-

91. Seprűnyélből készült levélmérleg

legtányér. A rúdon ceruzavonással jelöljük meg, hogy mennyire merül a vízbe (91. ábra).

Mérlegünk nagyon érzékeny, alkalmas arra, hogy pondokat mérjünk vele. Tegyük a tányérra egy 10 gr-os súlyt. A rúd mélyebbre merül a vízbe. Azt a helyet, ameddig bemerül, megint megjelöljük ceruzavonással. Ez lesz a skálánkon a 10 gr. Ha a két ceruzajel közötti távolságot 5 részre osztjuk be, akkor egy osztályzat 2 gr-ot jelöl. Ezt a beosztást felfelé folytathatjuk.

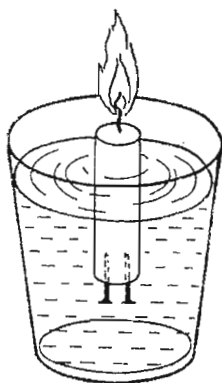
Ha 10 gr-os súlyunk nincsen, akkor tegyük a tányérra egyforintosokat. Egy darab egyforintos súlya 1,5 gr.

Ha a seprűnyéldarabból 7 cm áll ki a vízből, akkor mérlegünk kb. 15 gr-ig használható. Ha azt akarjuk, hogy kétszer, háromszor, négyszer több súlyig lehessen vele mérni, akkor 2, 3, 4 seprűnyéldarabot erősítünk egymás mellé, és újra elkészítjük a beosztást.

A víz mint gyertyatartó

Kísérlet. Ha gyertyát vízre teszünk, úszik a vízen, mert a gyertya könnyebb, mint az ugyanakkora térfogatú víz. A gyertyának kb. 1/9 része kiáll a vízből.

Egy vagy több szeggel súlyosbítsuk annyira a gyertyát, hogy a víz majdnem a gyertya pereméig érjen (92. ábra).



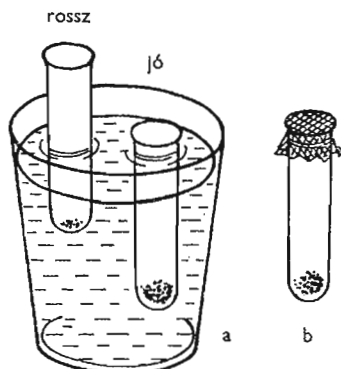
Gyűjtsük meg a gyertyát. Égés közben a láng mindig ugyanabban a magasságban marad. Igaz ugyan, hogy égés közben fogy a gyertya, de egyúttal csökken a súlya, és ezért kijebb emelkedik a vízből; tehát nem éghet le annyira, hogy a karimáján befolyjék a víz.

92. Az önműködő gyertyatartó. A láng állandóan ugyanabban a magasságban marad

Keressünk ki az éléskamrából egy hosszú nyakú befőttesüveget. Minél magasabb, annál jobb, a lényeges csupán az, hogy a száját tenyerünkkel jól be tudjuk fedni. Már 16 cm magas hengeres befőttesüveggel is jól sikerül a kísérlet. Ebben merül majd a bűvár.

Szükséges még egy próbacső vagy orvosságos fiola (5-10 cm hosszú).

Kísérlet. A próbacsőbe rakjunk kavicsot vagy sörétet nehezezkül mindaddig, amíg csak 2-3 mm-nyire áll ki a vízből (93. ábra). Ezután a cső száját kössük be gézzel. A cső akkor jó, ha szájával lefelé fordítva is csak 2-3 mm-nyi része áll ki a vízből.

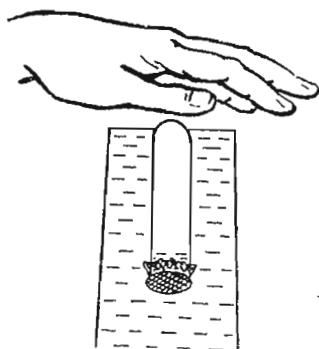


93. A bűvárként alkalmazott kis üvegnek (próbacsőnek) addig kell elmerülnie a vízben, amíg csak 1-2 mm áll ki belőle (a). — Ekkor a száját gézzel lekötjük (b)

Töltsük meg színültig vízzel a befőttesüveget. Ezután az üvegcsövet szájával lefelé merítsük a befőttesüveg vizébe (94. ábra).

Nagyon fontos az, hogy a befőttesüveg színültig legyen vízzel. Helyezzük tenyerünket a befőttesüveg szájára úgy, hogy légmentesen elzárja az üveg száját. Nyomjuk tenyerünkkel egyre erősebben a víz felszínét. Egyszer csak úszó üvegcsövünk, a bűvár, megmozdul és süllyedni kezd.

Csökkentsük tenyerünkkel a nyomást: a bűvár újra felfelé száll. Ha pedig tenyerünkkel ügyesen szabályozzuk a nyomást, elérhetjük, hogy bárhol lebegve marad.



94. Jól előkészített búvárunkat szájával lefelé, vízzel csordultig telt edénybe merítjük. Ha a búvár vége csak 1-2 mm-re áll ki a vízből, akkor tenyerünk nyomásával is könnyen működtethetjük

Búvárunk úgy viselkedik, mint a hal vagy a tengeralattjáró. Tetszésünk szerint fel- és leszállhat a víz alatt.

A **jelenség magyarázata** szemmel látható. Figyeljük meg az üvegcsőben a víz felszínét, miközben tenyerünkkel nyomást gyakorolunk a víz felszínére. A víz emelkedik a búvárcsőben. Ugyanis több vizet nyomunk a búvárba, ezáltal búvárunk egyre nehezebb lesz, míg végül olyan nehéz lesz, hogy alámerül.

Ha a nyomást megszüntetjük, akkor az összpreéselt levegő kinyomja a vizet a búvárból, ezért könnyebb lesz, felemelkedik.

Tenyerünk helyett gumipelenka-darabbal vagy használhatatlanná vált futball-belsőrésszel is leköthetjük a befőttesüveget. Az elzárólapra gyakorolt nyomással kényelmesebben működtethető a készülék.

A gyárilag előállított búvár rendszerint ördög alakú, és belül üres. Oldalt hajló farka végén nyílás van, ezen áramlik a víz ki-be a nyomásváltozásnak megfelelően. Ha a nyomást hirtelen megszüntetjük, a víz hirtelen kiáramlik az oldalt levő nyíláson, és visszaható erejével megforgatja a búvárt.

A búvár annál érzékenyebb, annál kisebb nyomásra működik, minél nagyobb részét tölti meg a levegő. Ez érthető, mert minél nagyobb a bezárt levegő térfogata, annál nagyobb a térfogat változása egy bizonyos nagyságú nyomásra.

A legegyszerűbb megoldás: a cucli

Vásároljunk drogériában gumicuclit, de ne legyen kilyukasztva.

Keressünk elő olyan átlátszó (fehér) literes üveget, amelynek szájára jól záródóan ráhúzhatjuk a cuclit (95. ábra).

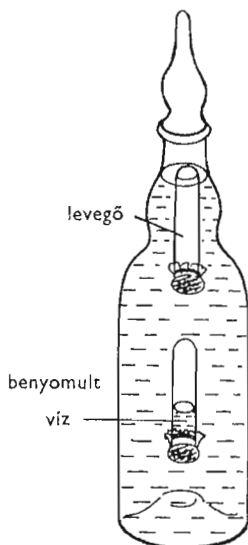
Töltsük meg az üveget színültig vízzel. Előkészített bűvárunkat befogott szájával lefelé a vízbe eresztjük. Ezután a cuclit az üveg szájára húzzuk. Ha ujjainkkal a gumit összeszorítjuk, a bűvár alámerül. Ha a szorítást abbahagyjuk, újra a víz felszínére emelkedik.

A cuclis megoldásnak az a nagy előnye, hogy a gumi összeszorításával könnyen fejthetjük ki és szabályozhatjuk a szükséges nyomást.

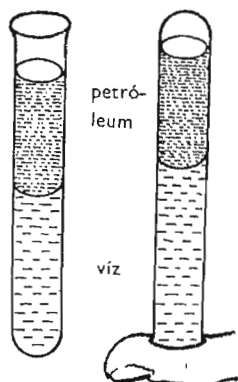
Nem keveredő folyadékok — a víz és a petróleum helycseréje

1. Kísérlet. Töltsünk meg félig vízzel egy üvegcsövecskét (szemes orvosságot tartalmazott üvegcső) vagy apró kis üveget. A vízbe cseppentsünk néhány csepp kékitőt (mosáskor használják), hogy jól látható legyen. Ezután öntsünk a víz fölé petróleumot (96. ábra).

96. A petróleum akkor is felül helyezkedik el, ha megfordítjuk az üvegcsövet



95. A bűvart nagyon könnyen működtethetjük a literes üveg szájára húzott, ki nem lyukasztott gumicuclival



A petróleum úszni fog a víz felszínén, mert könnyebb, mint a víz (súlya csak 0,8-0,9 része a vele egyenlő térfogatú víz súlyának).

2. Kísérlet. Fogjuk be a cső nyílását (vagy dugjuk be dugóval), és fordítsuk fel, hogy a petróleum kerüljön alulra. A petróleum nem marad ott, hanem azonnal újra a felszínre emelkedik.

Ezek a kísérletek tehát azt mutatják, hogy **ha két különböző sűrűségű (fajsúlyú) folyadék érintkezik egymással, akkor a kisebb sűrűségű, a könnyebb folyadék rétegeződik a nehezebb folyadék fölé.**

Bűvészmutatvány két pohárral

Kísérleteinkhez elegendő, ha egészen kis poharakat használunk, például likőröspoharakat, mert a használt folyadékok végül is kárba vesznek. Mi kicsiny, 4 cm magas likőröspohárakkal végeztük a kísérleteket. Amikor már ilyen próbákban jól megtanuljuk a mutatvány minden csínját-bínját, akkor nagyobb társaságban nagyobb poharakkal, így 6-7 cm magas borospoharakkal is bemutathatjuk: a vizespohár már túl nagy, sok anyag megy veszendőbe.

Ügyeljünk arra, hogy pontosan ugyanakkora poharakat használjunk, a karimájuk jól csiszolt, egyenletes, ép legyen, ha egymás fölé borítjuk őket, jól zárjon a szélük.

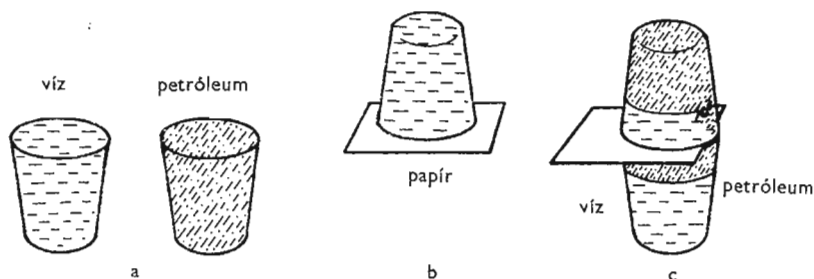
Töltsünk meg egy poharat kékitővel színezett vízzel, egy másikat pedig petróleummal. Mindkét pohár legyen tele csordultig folyadékkal.

A feladat ez: hogyan tudnánk a két pohár tartalmát egymással kicserélni, de úgy, hogy nem szabad semmiféle más edényt használni!

Ez szinte megoldhatatlannak látszik, mégis könnyen és biztosan sikerül a bevezető kísérlet alapján (97. ábra).

A vizespoharat borítsuk le jól bevezett papírlappal. Ez lehetőleg levelezőlap vastagságú legyen, hogy ne ázzék el.

A papírlapot szorítsuk rá tenyerünkkel a vizespohár karimájára! A papírlap alatt lehetőleg ne maradjon légbuborék! Tenyerünkkel állandóan a pohárhoz szorítva a lapot, fordítsuk szájával lefelé a vizespoharat. Most már elvehetjük tenyerünket a papírlapról. A papír



97. Így lehet egymással kicserélni egy tele pohár víz és egy tele pohár petróleum tartalmát

nem fog leesni a pohár szájáról! (97b ábra). Ezt a megfordítást többször is próbáljuk meg talca fölött, amíg elég ügyesen meg tudjuk csinálni!

Ezután a szájával lefelé álló, vízzel telt poharat (rajta a papírlappal) tegyük a petróleumos pohár fölé úgy, hogy a pohárszélek pontosan egymás fölé kerüljenek!

Miközben kezünkkel úgy tartjuk a poharakat, hogy ebben a helyzetben maradjanak, óvatosan annyira kihúzzuk a két pohár közül a papírlapot, hogy a lap szélén, a poharak karimájánál egy kis résen át érintkezhessen a két folyadék (97. ábra).

Mi történik ezután? A könnyebb folyadék, a **petróleum a szűk résen át felemelkedik, és a pohár fala mentén a felső pohárba áramlik.**

A **nehezebb víz** pedig a felső pohárból a résen át lecsurog az alsó pohárba. Az alsó pohár szélén jól láthatjuk a lecsurgó víz kék fonalaait.

Egy-két perc múlva (az idő a rés szélességétől függ) a két pohár tartalma kicserélődik.

Először feltétlenül szűk nyílással végezzük a kísérletet, hogy a jelenség néhány percig eltartson, ugyanis a következő kísérletben a hosszú időre nagy szükség lesz.

A petróleum és a víz egymással nem keveredő folyadékok, ezért, ha az előbbi lassú kísérletet elvégeztük, egész bátran meg is gyorsíthatjuk oly módon, hogy a papírlapot jobban kihúzzuk. Ekkor másod-

percek alatt kicserélődik a két folyadék, a petróleum lesz felül, a víz alul. — Fordítsuk meg az összeállítást! Megint a petróleum kerül alulra és így akárhányszor megismételhetjük a kísérletet.

Különböző sűrűségű, egymással keveredő színes folyadékok egymásra rétegzése

Egy kisebb, de magas poharat (pohárkát) töltsünk harmadrészig vízzel, és szórjunk bele annyi konyhasót, amennyit csak fel tud oldani. Ezt a sós vizet fessük tintával vagy kékítővel jó sötétre.

Egy másik pohárban készítsünk elő piros tintával festett tiszta vizet. Ezt a piros vizet megtört papírtölcsér segítségével a 87. ábra szerint rétegezzük a sós víz fölé. A kék és piros víz között akkor lesz éles határfelület, ha a piros tintás víz szinte cseppekben folyik a pohár falán a sós víz felületére.

Ugyanilyen módon most pálinkát vagy denaturált szeszt (spirituszt) rétegezhettünk a piros tintás víz fölé. (Az alkohol könnyebb a víznél, sűrűsége 0,8.)

Így a pohárban háromféle, egymással igen jól keveredő folyadékot sikerül egymás fölé rétegezni, és a különböző színű rétegek határfelületét igen jól láthatjuk (98. ábra).

A különböző színű rétegek határvonala annál élesebb, minél inkább sikerül az, hogy a ritkább folyadék igen lassan, kis sebességgel cseppegen a tölcserből a pohár oldalára és onnan a sűrűbb réteg fölé.



Hagyjuk poharunkat mozdulatlanul, és figyeljük napról napra a rétegek határvonalát. Ezek egyre jobban elmosódnak, de még napok múlva is jól láthatók. Egy-két hét múlva azonban önmaguktól teljesen összekeverednek a különböző színű folyadékok.

98. Háromféle, különböző színű, egymással keveredő folyadékot rétegezhettünk egymásra, és napokig különválva maradnak

Kísérletünkben tehát a különböző színű rétegek határvonalának lassú elmosódása jelzi a diffúzió előrehaladását.

A szilárd testek átdiffundálnak-e egymásba? — Jól tudjuk, hogy például a kámfor, a naftalin molekulái a szilárd testből kirepülnek, bejutnak a levegőbe, megérezzük szagukat.

Miért ne diffundálhatnának egymásba az egymásra helyezett szilárd testek is? Például ha aranyat fektetünk ólomdarabra, egy idő múlva nem diffundálnak-e az arany molekulái az ólomba és viszont? Ez a diffúzió nagyon valószínű, csak az a kérdés, hogy az egymásba diffundált, végtelen kevés anyagot hogyan sikerül kimutatni?

Ez valóban nagy nehézséggel járt egészen a legújabb időkig, de ma már nagyon egyszerű az egymásra helyezett fémek diffúziójának kimutatása a nyomjelző (mesterségesen radioaktív) atomok segítségével. Neutronbombázással mesterségesen radioaktívvá teszik például az aranyat, azután ráfektetik az ólomdarabra. Egy idő múlva szétveszik a két fémot, és az ólomdarabot egy számlálócső elé helyezik. A számlálócső egyenként kimutatja az ólomba átdiffundált radioaktív aranyatomokat.

A fő kísérlet: vörösbor és víz

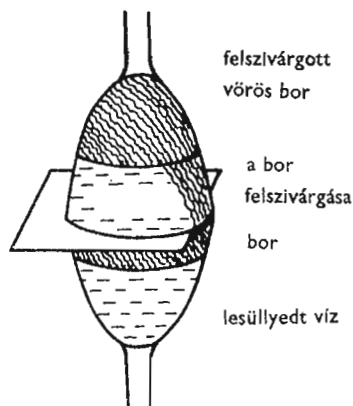
Társaságban vagyunk — az asztalon egymás mellett áll egy tele pohár vörösbor és egy tele pohár víz. Ki tudja az egyiket a másikba átönteni egy újabb edény igénybevétele nélkül?

Pontosan ugyanúgy járunk el, mint a petróleummal és a vízzel telt pohár esetén. A vizespoharat papírlappal fedjük le, megfordítjuk, és a borospohár fölé tesszük. A papírlapot óvatosan oldalt húzzuk. A keletkező nyílás igen kicsiny legyen.

Nagyon szép látvány, amint a vörösbor összefüggő, vékony fonalak alakjában áramlik fel a pohár oldala mellett a pohár tetejébe **anélkül, hogy a környező nagy tömegű vízzel összekeverednék!**

A nyílás olyan kicsiny legyen, hogy kb. 10 percig tartson, amíg a bor lassan megtölti a felső poharat! Ebben az esetben szinte teljes a helycsere (99. ábra).

99. A víz és a vörösbort helycseréje



Ha a nyílást kissé nagyobbra hagyjuk, akkor a bor és a víz keveredik, és a két pohár tartalma nem cserélődik ki teljesen.

A kísérlet ugyanilyen jól sikerül akkor is, ha mi készítjük a „vörösbort” vízből, piros tintából és kb. 10%-nyi denaturált szeszt (spirituszt) keverünk hozzá.

Hasonló jelenségek a természetben

Mit láttunk ezekben a kísérletekben? Azt, hogy a kisebb sűrűségű anyag a nagyobb sűrűségű fölé emelkedik és ott rétegződik.

Ezzel a jelenséggel igen gyakran találkozunk anélkül, hogy nekünk kellene ügyeskednünk előidézésükön.

Kísérlet. Tegyük egy edényben hideg vizet a tűzhelyre. Amikor a víz langyosodni kezd, dugjuk bele az ujjunkat. Határozottan érezzük, hogy a víz felső rétege meleg, az alább levő meg hideg. Hogyan lehetséges ez, hiszen az edény meleg fenekével a víz alsó rétege érintkezik, miért lesz mégis felül melegebb a víz?

Az alul megmelegedett vízcseccskék azonnal felszállnak a víz tetejére, mert **a melegebb víz ritkább**. A kisebb sűrűségű meleg víz a hideg víz tetején rétegződik, és ilyen helycserével lassanként átforrósodik az egész víztömeg.

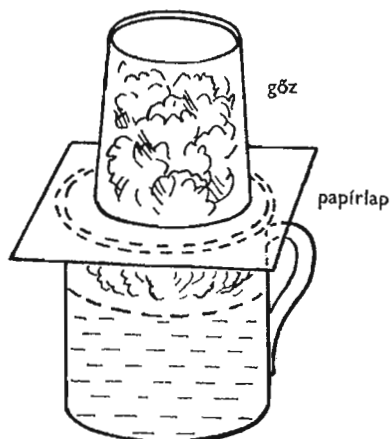
A levegő is így melegszik fel. **Először a talaj lesz meleg**, mert elnyeli a napsugarakat. Azután a talajjal érintkező földfelszíni levegő melegszik fel. **A felmelegedett levegő felszáll**. Szép nyári napokon megfigyelhetjük, hogy a felszálló levegő hogyan viszi magával egyre magasabbra a szárnycsapás nélkül köröző golyákat meg a vitorlázó repülőgépeket.

Kísérletek az ozmózisra. Az anyag „lyukacsos”

A vízgőz és a kartonpapír

Kísérlet. Forraljunk fel vizet egy bádogpohárban hogy erősen gőzölgjön!

Borítsuk le elég vastag keménypapírral. Azután helyezünk üvegpo-
harat szájával lefelé a papírlapra, a bádogpohár fölé. Néhány
másodperc múlva azt látjuk, hogy gőz tölti meg a felső po-
harat. A gőz a keménypapíron hatolt át (100. ábra).



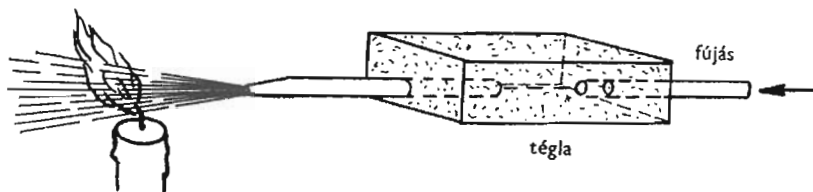
A kísérlet akkor is sikerül, ha a gőzölgő teás- és kávéscsészén-
ket borítjuk így le. Az üvegpo-
hár rövid idő után elhomályoso-
dik, gőz csapódik belül a falára.

100. A gőz áthatol a kemény papírlap pórusain

Gyertyát fújunk el téglán át

Kísérlet. Egy téglát két szemközti legkisebb lapjába lyukat fúrunk. A lyukakba jó szorosan üveg- vagy fémcövet gipszelünk. Azután az egész téglát bevonjuk megolvasztott padlóviasszal. A csövek közül az egyik csúcsosodik ki, és szűk nyílásban végződjék (101. ábra).

Irányítsuk a csúcsos cső nyílását gyertyalángra. Fújunk bele erősen a másik csőbe. A gyertya elalszik.



101. Így lehet egy téglán keresztül eloltani a gyertyát

Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy a téglá lyukacsos (ezt eddig is tudtuk), és ezek a lyukacsok a téglá belsejében egymással összeköttetésben vannak ezt (nem tudtuk).

A kísérlet még azt is bizonyítja, hogy a **tégla falon keresztül is szellőzik a szoba.**

A meghizlalt tojás — Egy lehetetlennek látszó feladat

A víz lassan átnedvesíti a keménypapírt is, meg a téglát is. Ez is bizonyítja, hogy ezek az anyagok lyukacsosak. De ha egy tojásról óvatosan úgy tudnánk eltávolítani a kemény héját, hogy az alatta levő hártýaburok épen maradjon, azt tapasztalnánk, hogy ezen a hártýán nem szivárog át a tojásfehérje. Sőt, a hártýából készült edényekbe vizet is önthetnénk, és még csak át sem nedvednének, bármennyi idő múlva sem.

Ugyanígy vagyunk a pergamennel, a celofánpapírral is. Ha az ilyen papírral lekötött befőttesüvegeket felfordítjuk, a pergamenpapíron vagy celofánhártýán nem szivárog át a folyadék.

Mégis, ezekről az anyagokról is ki tudjuk mutatni, hogy lyukacsosak (pórusaik vannak), és hogy rajtuk áthatolnak a gázok, folyadékok.

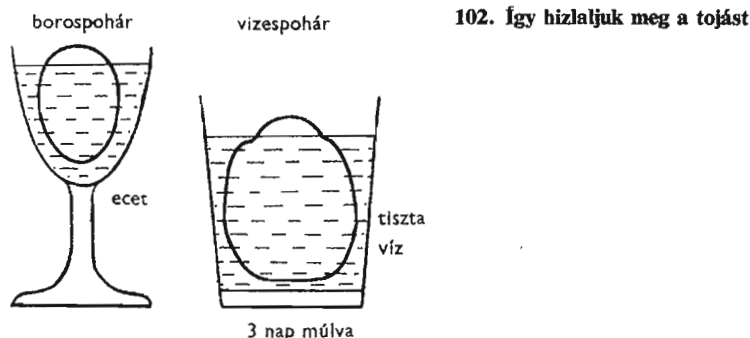
Feladat. Kezünkben tartunk egy tojást. **A tojás héján semmiféle lyukat ütni nem szabad. Ki tudna a tojás belsejébe legalább annyi vizet belevinni, mint a tojás köbtartalmának fele?** Kikötjük azonban, hogy a tojásban az eredeti tartalomnak is benne kell maradnia.

Azt hiszem, mindenki azt mondja, hogy ez teljesen lehetetlen feladat. Pedig milyen egyszerűen és biztosan meg lehet valósítani!

Nem kell hozzá semmi más, csak egy kis pohár, amelybe a tojás éppen befér, egy kis ecet és — három nap.

Természetesen a pohár lehet nagyobb is. Mi azért alkalmaztuk az ábra szerinti kis poharat, hogy minél kevesebb ecetet használjunk fel.

Kísérlet. Öntsünk a pohárba annyi közönséges ételőecetet, hogy a tojásnak egy része kiálljon az ecetből, ha a tojást a pohárba tesszük (102. ábra).



A tojás ecetben maradt felületén azonnal pezsgést figyelhetünk meg. Az ecet kezdi oldani a tojás kemény mészhéját. Kb. 2 nap múlva egészen feloldódik a mész, és a tojásnak az ecetbe merülő részén csak a puha, rugalmas tojáshártya marad meg. A tojás másik részén megmarad a kemény mészburok is.

Három nap múlva furcsa dolgot veszünk észre; meghízott a tojás. Megitta az ecetes víz nagy részét. A mészhéjat éppen azért hagytuk meg a tojás egy részén, hogy a csupasz rész hatalmas duzzadását összehasonlíthassuk az ép résszel.

Fokozhatjuk és gyorsíthatjuk a duzzadást azáltal, ha a mészhéj nélküli tojást **tiszta vízbe** tesszük.

A csak hátyával burkolt tojás egy nap alatt eredeti térfogatának többszörösére duzzadhat (ha a tojást sósavba tesszük, egy-két perc alatt leoldódik a mészhéja).

Mi okozta a térfogatnövekedést? Az, hogy a tojás hátyáján át vízmolekulák hatoltak a tojás belsejébe.

Kivonjuk a vizet a tojásból

Ha ezt a megdagadt tojást a vízből kivesszük, a tojás belsejébe hatolt víz nem fog keresztülcsöpögni a tojáshártyán. Hónapokig kellene várjunk, amíg a hártán át igen lassan elpárologna a belső nedvesség.

Tegyük a víztől duzzadt tojást alkoholba (spirituszba) vagy tömény sóoldatba. A víz olyan gyorsan eltávozik a tojás belsejéből, a hártán keresztül, mint amilyen gyorsan bejutott.

Kísérletünk azt bizonyítja, hogy a folyadékok olyan anyag lyukacsain is áthatolnak, amelyről azt hittük, hogy a folyadékot nem ereszti át.

Miért hatolt a víz a tojásba, és miért áramlott onnan kifelé? — Ez a fizikusoknak is komoly fejtörést okozott.

Lássuk csak: először kívül volt a sok tiszta víz, — befelé törekedett a tojásba, ahol kevesebb volt a víz. Tehát a víz olyan helyre törekedett, ahol — **hígíthatta** a folyadékot (a tojáshártyán belüli anyagot).

Amikor pedig a tojást spirituszba vagy tömény sóoldatba tettük (a spiritusz alkohol és víz keveréke), a tojás belsejében levő víz a spirituszt, illetve a sóoldatot akarta tovább ritkítani, ezért belülről kifelé áramlott. A víz tehát az elválasztó hártán át abba az irányba áramlik, ahol további hígítást okozhat.

Tegyünk egy, a kocsányán levő ép szőlőszemet vagy cseresznyét tiszta vízbe. A szőlőszemen belül cukros oldat van. A szőlőszem néhány nap alatt annyira megduzzad, hogy elreped. **Víz hatol bele**, hogy hígítsa a cukoroldatot.

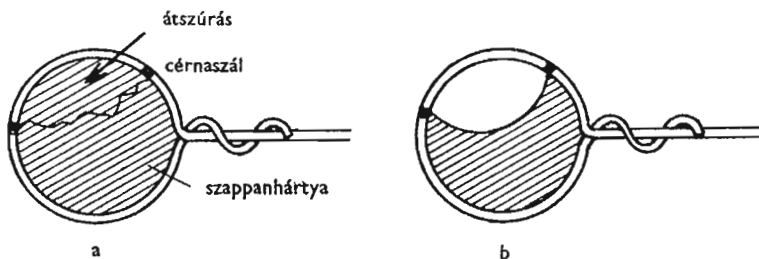
Tegyük a cseresznyeszemet vagy szőlőszemet jól megsózott vízbe. Néhány nap múlva a betett szem összetöporodik, megráncosodik, térfogata kisebb lesz. A belsejéből víz szivárgott át a héján, hogy felhígítsa a kívül levő erős sós oldatot.

Az ilyen jelenség neve: ozmózis. Az állati test is minden oldalról hártával körülvárt sejtekből áll. A sejtfalon át ozmózis útján történik az életműködéshez szükséges nedvek kicserélődése.

Kísérletek a felületi feszültségre

A kifeszülő cérnaszál

Vékony (kb. 1 mm-es) drótból készítsük el a 103. ábra szerinti keretet. A keretre kössünk cérnaszálat. Mártjuk a keretet **szappanos vízbe**, hártya feszül a keretre (103a ábra). Ujjunkkal vagy pálcikával bökjük át a hártyát a cérnaszál egyik oldalán. A másik oldalon megmaradó hártya kör alakúra feszíti ki a cérnaszálat (103b ábra).



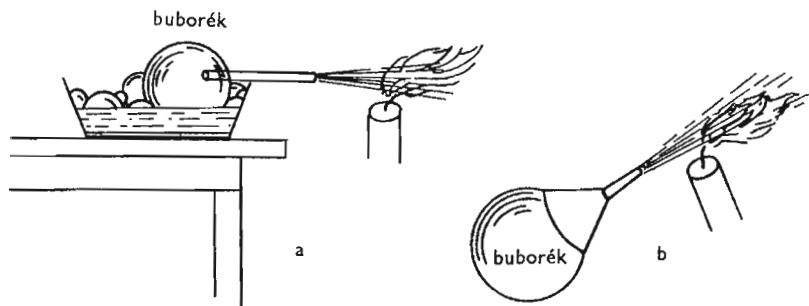
103. A szappanhártya a lehető legkisebb felületet igyekszik felvenni

A keletkező lyuk a lehető legnagyobb felületű lesz, amit csak a cérnaszál körülfoghat. Ebből következik, hogy a szappanhártya felülete a lehető legkisebb lesz. Íme a törvény:

A szappanhártyák mindig a lehető legkisebb felületre törekszenek. Ezt látjuk a következő kísérletben is.

A gyertya eloltása

a) Öntsünk szappanoldatot egy tányérba, és fújjunk az oldat felületére buborékot. Nedvesítsünk meg a szappanoldattal egy szalmaszálat (nádszálat, üvegcsövet), és szúrjuk bele a buborékba. Miközben a buborék összehúzódni törekszik, a levegőt akkora sebességgel nyomja ki, hogy a levegőáram elfújja a gyertyát (104a ábra).



104. Gyertyát olthatunk el szappanbuborékkal

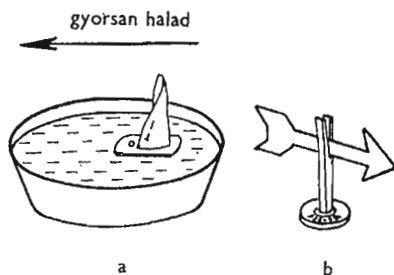
b) Ugyanezt a kísérletet bádogtölcsérrrel is elvégezhetjük (104b ábra), ha karimájára szappangömböt fújunk.

Ezek a kísérletek igazolják, hogy a szappanbuborék aránylag nagy erővel húzódik össze, a buborék a felületét csökkenteni törekszik.

Játék a borotvapengével

1. A vitorlázó penge. Már láttuk, hogy a borotvapengét nyugodtan ráhelyezhetjük a víz felszínére, úszik rajta, pedig az acél kb. nyolcszor nagyobb fajsúlyú, mint a víz.

Vékony papírt hajtsunk össze tölcéséresre. Elég nagy papírtölcéséret állíthatunk az úszó penge lapjára (105. ábra). Az ilyenformán vitorlával ellátott pengét már egészen gyenge légáramlat is mozgásba hozza. De vigyázzunk, mert a vitorlát a fúvás könnyen vízbe borítja.



105. A vízre fektetett borotvapenge még a 10 filléres pénzdarabra szerelt papírnilyat is elbírja

2. A közegellenállás kimutatása. Fújjunk óvatosan a vitorlára az ábrán jelzett irányban. A penge gyors mozgásba jön, mert keskeny oldalával halad a vízzel szemben.

Fújjunk a vitorlára a penge hosszára merőleges irányban. Meglepő, hogy milyen lassan halad a penge. Most ugyanis a hosszabbik oldalával, a nagyobb felülettel megy szemben a vízzel.

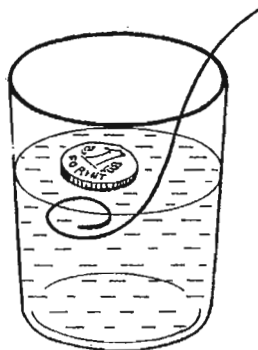
Fürdés közben sokszor tapasztalhattuk, hogy ha mellünkig a vízben vagyunk, még nagy erő kifejtéssel is csak lassan tudunk előrehaladni. Ilyenkor ugyanis testünknek nagy felülete mozog szemben a vízzel, a nagy felületre nagy a közegellenállás. Az úszó sokkal könnyebben és gyorsabban mozog a vízben, mert ráfekszik a vízre, és testének alig nagyobb felülete halad szemben a vízzel, mint a feje és válla.

3. A borotvapengéből iránytű. Mágnesezzük meg a borotvapengét, és fektessük vízre. Tengelyével észak—dél irányba áll be.

Mutatót is készíthetünk neki úgy, hogy 10 filléresre (vagy radír-gumi-darabkára) fél gyufaszálat erősítünk, a gyufaszál felső végét behasítjuk, és könnyű papírnyilat illesztünk bele (105b ábra), azután az egészet a vízben úszó borotvapenge középre állítjuk.

A vízben úszó pénzdarabok

A borotvapengénél vagy tűnél nehezebb fémtárgyak sem merülnek alá a vízben, ha óvatosan tesszük őket a víz felületére, úgy hogy lapjuk egyszerre érintse a vízfelületet.



Erre a célra drótból vagy hajtűből a 106. ábra szerint egy kis tartót hajlítunk. A tárgyat először a tartóra helyezzük, azután óvatosan rátesszük vele a víz színére.

106. Drótból hajlított tartóval a víz színére helyezhetjük a tárgyakat

A víz színén maradnak az alumíniumból készült pénzerméink, még az egyforintos is.

Figyeljük meg a vízre helyezett pénzdarabok szélén a víz felületét. A víz a pénzdarab oldalán kidudorodik, csak úgy feszül a pénzdarab súlya alatt. **Mintha rugalmas hártýára fektettük volna a pénzdarabot.**

Feljön-e a víz alól?

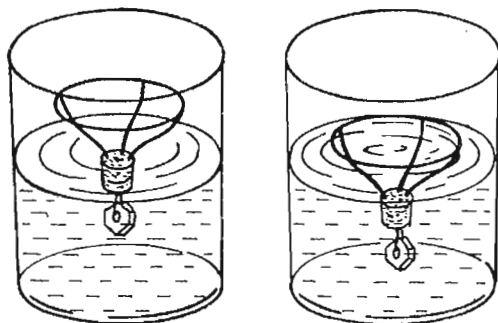
Nyomjuk a víz alá a víz felszínén úszó parafadugót, a dugó újra a felszínre bukkan. De készíthetünk olyan dugót is, amely bár kezdetben úszik a vízen, ha alámerítjük, nem jön a víz színére.

Szerezzünk egy borosüvegbe való parafadugót. A dugó egyik végére a 107. ábra szerint erősítsünk vékony drótból (például virágdrótból) hajlítotti, kb. 10 cm sugarú karikát, a másik végébe pedig szúrjunk 6-8 cm hosszú, vékony drótot. Ennek a drótnak a végét vagy görbítsük meg, hogy súlyokat akaszthassunk rá, vagy pedig sztaniolból egy kis kosarat erősítsünk rá, amelybe nehezéket rakhatunk.

A felső drótkarika közepe essék a dugó lapjának közepe fölé, és ha a szerkezet a vízen úszik, akkor a gyűrű álljon vízszintesesen.

Az alsó drótvéget vagy kosárkát mindaddig terheljük, amíg a függőlegesen álló dugóból csak 8-10 mm áll ki a vízből (bal oldali ábra).

Nyomjuk a szerkezetet merőlegesen a víz alá, és eresszük el. A drótkör megakad a víz felszínébe, mintha gumihártýa lenne ott, és látható, amint kissé felfelé feszíti.

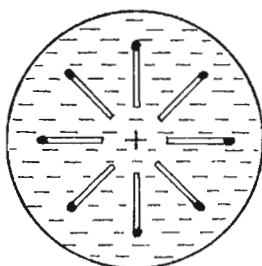
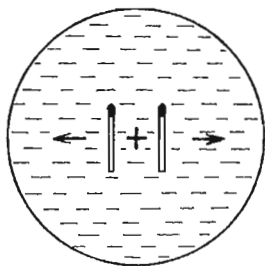


107. A készülék könnyebb, mint a víz, úszik a vízen. — De ha a víz alá merítjük, mégsem jön fel a víz felszínére

A szétfutó gyufaszálak

Öntsünk vizet egy lapos tányérba. A víz tetejére helyezzünk egymástól 1-2 cm távolságban 2 gyufaszálát. Az a kérdés, hogyan lehet szétfuttatni őket? (108. ábra).

Csak a szappan csücskét kell kissé odaérinteni a két gyufaszál között a víz felszínéhez, hogy a gyufaszálak meglepő sebességgel szétugorjanak.



108. Ha a + jellel jelölt helyen a víz felszínéhez szappan érintünk, a gyufaszálak szétfutnak

Mi ennek a magyarázata? Az, hogy a szappan oldásakor a víz felszínén szappanoldat terül el, ez megkisebbiti a gyufaszálak között a felületi feszültséget. De a gyufaszálak másik oldalán fennmarad a nagyobb feszültség, és ez szétrántja a gyufaszálakat.

A kísérletet úgy is elvégezhetjük, hogy a gyufaszálakat csillag alakban fektetjük a **tiszta víz** felületére.

Érintsük egy szappandarabkával a víz felületét a csillag közép-pontjában. A gyufaszálak szétfutnak.

Fontos: minden kísérlethez új, tiszta vizet vegyünk, mert ha a víz-felület szennyezett, nem sikerül a kísérlet.

Szappanmotoros csónak

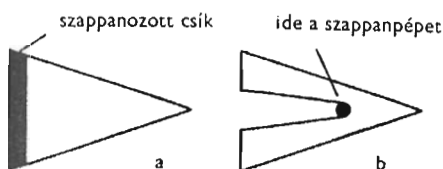
a) **Az elvet bemutató kísérlet.** Vágjunk ki papírból akkora formát, mint azt a 109a ábra mutatja. A **papír** feketére rajzolt **végét** dörzsöljük kissé nedves szappanfelülethez, azután fektessük egy mosdótálban

levő tiszta vízre. A vízen úszó papírlap felülete maradjon száraz. A papírlap úszni fog a nyíl irányában.

A magyarázat egyszerű: a szappanos oldalon kisebb lesz a felületi feszültség, elől megmarad a vízhártya erősebb húzása — tehát a lap előremozog.

Jó, ha egy közönséges papírszeletet is helyezünk a vízfelületre. Ez mozdulatlan marad. Látható, hogy nem a víz áramlása mozgatja csónakunkat.

b) A sokáig haladó csónak. Vágjuk ki közönséges papírból a 109b ábra szerinti mintát olyan nagyságban, mint az ábrán látható. Az ábrán megjelölt helyre fél gombostűfejnyi szappanpépet kenünk, illetve parányi, szappanból lekotort vakarékot nyomunk ujjunkkal.



109. Szappanmotoros csónak

A hajót egy villára (vagy hajlított drótra) tesszük, és óvatosan a mosdótálban levő ujjnyi magas víz felületére helyezzük. A hajó sebesen mozgásba jön. Mozgás közben időről időre lökjük az orrát drótdarabbal vagy pálcikával a kellő irányba.

A kis hajó egy nagy mosdótálban többször körbejár. Például egyik kísérletben 22 cm átmérőjű kört háromszor futott be, mintegy 2 m-es utat tett meg.

Abban a mértékben, ahogy a víz felülete szappanos lesz, csökken a hajó sebessége.

c) Órákig fut a víz színén kis hajónk, ha pecsétviasszal egy kis kámfordarabkát ragasztunk a szappan helyére. Órákig fut a víz felületén egy gyufaszál is, ha végét behasítjuk, és a hasadékba egy kis kámforszilánkot csíptetünk. (A jelenség most azért tart hosszú ideig, mert a víz felületét beszennyező, a felületi feszültséget csökkentő kámforgóz azonnal elpárolog a víz felületéről. A szappan, a zsiradék ellenben ott marad.)

d) A forgó fogpizskáló. Lapos fogpizskálóra van szükségünk. A fogpizskáló vége felé az élét dörzsöljük nedvesített szappanhoz.

Fektessük a fogpizskálót lapjával a tiszta és nyugodt vízfelszínre. A fogpizskáló a csúcsa körül körbefordul.

Ez a jelenség az előzők alapján már természetes.

III. HANGTANI KÍSÉRLETEK

Hangvisszaverődés

A hangárnyék

Tartsuk fülünktől 10-30 cm-re kezünket. Dörzsöljük össze hüvelyk- és mutatóujjunk hegyét. Jól halljuk a dörzsölés nesztét. Most tartsunk fülünk és összedörzsölt ujjaink közé egy papírlapot (levelezőlap is lehet), közel a fülünkhöz. Nem halljuk a neszt, jöllehet egyéb hangok hallásának erősségére nézve mit sem jelent a fülünk elé tartott papírlap. A papírlap mintegy árnyékot vetett, amelybe nem jutott bele a hang, ahhoz hasonlóan, ahogyan a napsugár sem jut az útjába tartott átlátszatlan tárgy mögé.

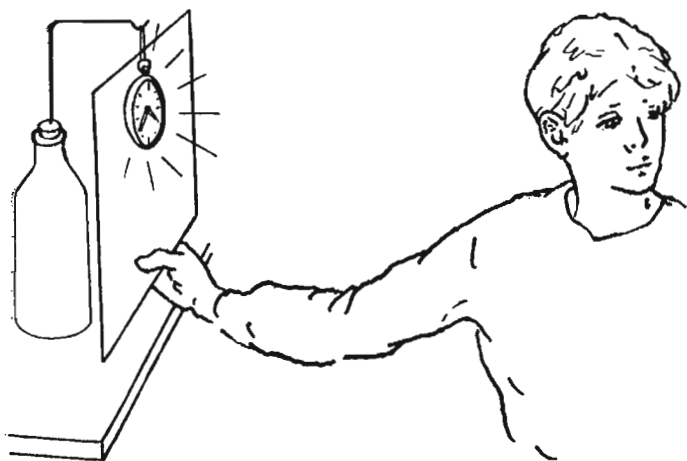
Zsebórával vagy karórával is elvégezhetjük ugyanezt a kísérletet.

Magyarázat: Az ujjaink összedörzsölésekor keletkező hangok és a zsebóra (karóra) ketyegésében hallható hangok igen magasak, hullámhosszuk csak néhány centiméter. Az ilyen rövidhullámú hangok a fényhez hasonlóan viselkednek, árnyékuk van, ezt nevezzük hangárnyéknak.

A hangvisszaverődés merőleges beeséskor

1. Kísérlet: a visszaverődés. Egy vízzel telt literes edény dugóján átszúrt drótra mint állványra akasszunk fel egy zsebórát (karórát). Fülünket távolítsuk mindaddig az órától, amíg már éppen nem halljuk a ketyegést.

Tartsunk most az óra mögé egy kemény papírlapot, például rajzlapot (110. ábra). — A ketyegést újra erősen halljuk. A papírlap síkjá álljon merőlegesen az órát és a fülünket összekötő egyenesre.



110. Tartsunk az óra mögé kemény papírlapot. A ketyegést jól halljuk olyan távolról is, abbnél a visszaverő lap nélkül nem hallanánk

2. Kísérlet: egy papírlappal különböző irányokba vetítjük a hangot, mint síktükörrel a fényt.

Az előbbi kísérletben, amikor a papírlappal visszavert óraketyegést jól halljuk — fordítsuk el a papírlapot. A ketyegést nem halljuk. De ha a fejünket is odább mozzgatjuk mindaddig, amíg fülünket és az órát összekötő egyenes újra merőlegesen áll a papírlapra, ismét halljuk a ketyegést.

Próbáljuk ki egyéb felületek hangvisszaverő képességét is. Alkalmazzunk például bolyhos törülközővel fedett lapot vagy a fürdőszobában használatos gumiszőnyeg lyukacsos oldalát.

Íme néhány eredmény, amikor 20-30 cm-es visszaverő lapot használtunk:

A hallhatóság távolsága

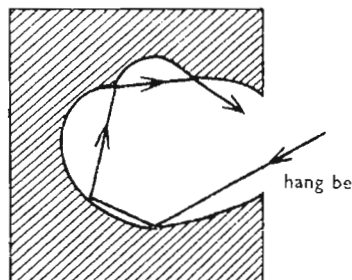
szabadon	40 cm
sík és visszaverő lappal	60 cm
bolyhos törülközővel fedett lappal	54 cm

gumiszivacsos felületű lappal 47 cm
 parabola alakúra hajlított sima lappal 160 cm

A lyukacsos felületről történő visszaverődéskor tehát jobban meggyengül a hang, mint amikor sík felületről verődik vissza.

Ennek okát könnyű kitalálni. Ha sík felületről verődik vissza a hang, akkor csak egyetlen visszaverődés történik. — Ha azonban a hanghullámok valami lyukba, nyílásba jutnak (111. ábra), akkor a

lyuk belső falán egymás után sokszor visszaverődnek. Minden visszaverődés alkalmával veszít a hang energiájából, úgy hogy amikor végre kitalál a lyukból, kevesebb energiája marad, mint amikor sík lapról verődik vissza.



111. A lyukba jutó hang a többszörös visszaverődés miatt nagyon legyengül

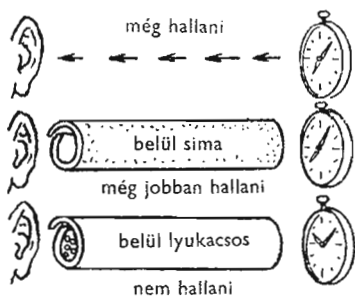
Kísérlet a lyukacsos falú „hangcsővel”

A fürdőszobában használatos gumi lábszőnyeg egyik oldala sima, a másik oldala pedig szivacszerűen lyukacsos.

1. Kísérlet: a sima falú csővel. Egy literes üveg dugójába szúrt, meghajlított drótra függesztett kar- vagy zsebórát toljunk el magunktól annyira, olyan messzire, hogy még halljuk a ketyegését. Azután sodorjuk össze cső formájúra a gumiszőnyeget, de úgy, hogy a **sima felülete legyen belül** (112. ábra).

Tartsuk ezt a csövet az óra és a fülünk közé. A **csövön át sokkal erősebben halljuk a ketyegést!**

Magyarázata egyszerű: ha nincs ott a cső az óra és a fülünk között, akkor az órától kiinduló hanghullámok minden irányban elindulnak a térben, rohamosan gyengülnek. De ha ott van a cső, akkor kénytelenek a csőben maradni, együtt maradni. Ezért a **sima falú csövön**



112. A belül sima felületű csövön át erősebben hallatszik a hang, mint szabadon. — A belül lyukacsos felületű csövön át pedig nem halljuk

át több hangenergia jut fülünkhöz, mint cső nélkül. Ezt tapasztaljuk akkor is, ha egyszerű papírcsövet alkalmazunk.

2. Kísérlet: a lyukacsos falú csővel. Légyen az óra megint olyan távol tőlünk, hogy **gyengén** halljuk a ketyegését. — A gumiszőnyeget megint hajlítsuk cső alakúra, de úgy, hogy most a **lyukacsos felülete legyen belül**. Tartsuk ezt a csövet az óra és a fülünk közé.

Talán azt várnánk, hogy a ketyegést megint erősebben halljuk. Meglepetésünkre **egyáltalában nem halljuk a ketyegést!**

Ez azért meglepő, mert ha elemeljük a csövet fülünktől, ismét halljuk a ketyegést a szabad levegőn át. — Ez a levegőrész, amelyen keresztül fülünkhöz ér a hang, ott van a cső belsejében is. — Miért nem terjed tehát a hang a csövön át is, hiszen nincs útjában akadály. Át is látunk a csövön.

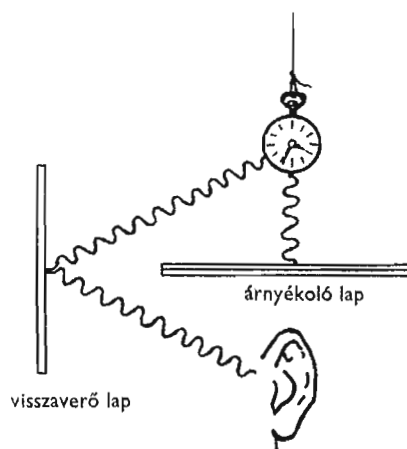
Hogyan magyarázzuk ezt a különös tényt? A hangforrás rezeg. Meglökli a vele érintkező levegőmolekulákat. Ezek meglökik a szomszédosokat, és így tovább. A molekulák ütközés közben energiát adnak és kapnak egymástól, és a legkülönbözőbb irányokba pattannak szét. Ezek közül a minden irányban szétpattanó molekulák közül sok bejut a cső falának lyukacsába is, ott pedig elvesztik annak az energiának a legnagyobb részét, amelyet a hangenergiából felvettek.

Ezért a lyukacsos falú csövön áthaladó hang kevesebb energiával ér a cső végére, mint érne akkor, ha a cső nem volna ott.

A hangvisszaverődés ferde beeséskor

Tartsuk fülünket olyan távol szabadon felakasztott óránktól, hogy ketyegését jól halljuk. — Toljunk most egy levelezőlapot az óra és fülünk közé, amely teljesen elárnyékolja a hangot. Semmit sem hallunk.

Tartsunk most oldalt (113. ábra) egy másik levelezőlapot, a ketyegést újra erősen halljuk, mert ez a lap a hozzá érkező hanghullámokat visszaveri az elárnyékoló lap mögé a fülünkhöz.

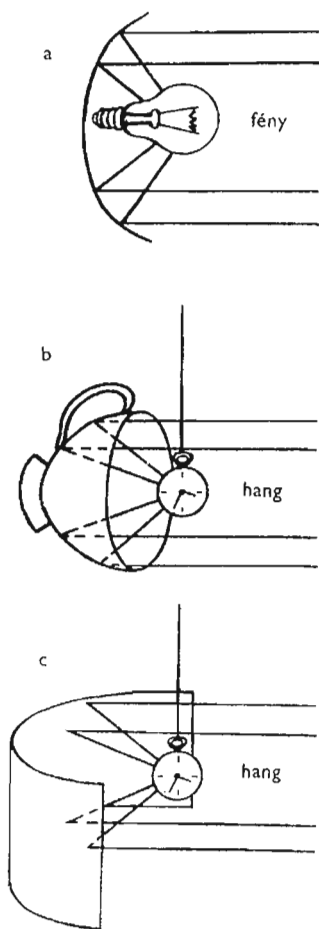


113. Egyszerű kísérlet a hangvisszaverődés kimutatására

Fényszóró — hanggal

A fényszóró tükrének homorú felülete úgy veri vissza a fényforrásból minden irányban kiinduló fényt, hogy a fénysugarak nagyjából egy irányban haladnak, ebben az irányban tehát a fényforrástól távolabb is erős lesz a fény (114a ábra).

A zseborából kiinduló hanghullámokat is könnyen egy irányba terelhetjük homorú, visszaverő felülettel. A hangvisszaverődés irányában meglepően erősebb lesz a hang.



114. a) A fényszóróban a fényforrás mögött levő homorú felület tereli egy irányba a fénysugarakat. b) A hanghullámokat teáscsészével terelhetjük egy irányba. c) A legegyszerűbb hangterelő felület a hengeresre hajlított papírlap

1. Kísérlet. Az óra mögé tartunk homorú felületű edényt, például borotválkozótálcskát, levesestálat, mélytányért vagy teáscsészét. A ketyegés felűnően megerősödik (114b ábra).

Egyik kísérletben fületem olyan messzire tartottam az órától, hogy a ketyegését már akkor sem hallottam, amikor az óra mögé visszaverő sík lapot tettem. Ebben a helyzetben egy teáscsészét tartottam az óra mögé — a lehető legközelebb hozzá. A ketyegés megint erősen hallható volt.

A hang erőssége akkor a legnagyobb fokú, amikor az óra mögött úgy helyezük el a homorú felületet, hogy az óra a homorú felület, például a tál közepétől kb. annyira van, mint a tálnak megfelelő gömb sugarának a fele. (Próbálgassuk!)

A legegyszerűbb homorú visszaverő felület az óra mögé tartott, hengeresre hajlított levelezőlap (114c ábra). Könnyen tudjuk változtatni a felület alakját is meg az órától való távolságát is. Meglepő, hogy a levelezőlap egy bizonyos homorulata esetén kitűnően halljuk a ketyegést, de ha kissé széjjelebb engedjük a papír oldalait (más homorulatú lesz a visszaverő felület), elgyengül a hang, vagy egészen meg is szűnhet. (Állapítsuk meg, hogy hányzor messzebből lehet ily módon hallani a ketyegést, mint visszaverés nélkül.)

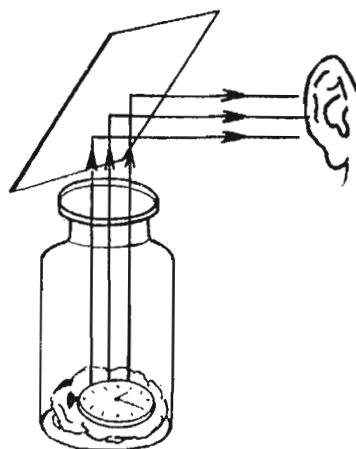
2. Kísérlet. Ébresztőórával, mert ennek erősebb a ketyegése. Egy ébresztőórát állítsunk talapzatra (befőttesüveg, könyvek). Kérjünk meg valakit, hogy figyelje a ketyegést. Távolodjon mindaddig az órától, amíg egyszer csak éppen nem hallja a ketyegést. — Most tartsunk az óra mögé nagyobb keménypapírlapot (rajzlapot). A megfigyelő újra hallja a ketyegést. — Ezután megint távozzék mindaddig, amíg a visszaverő sík lap esetén sem hallja.

Görbítsük most a síklapot parabola alakúra úgy, hogy az óra a fókuszban legyen. A megfigyelő újra hallja az egy irányba terelt hangot, négyszer-öttször távolabbról, mint visszaverődés nélkül.

Konzervdoboz és a hangvisszaverődés

Más módon is kitűnően megfigyelhetjük a hangvisszaverődést, csak egy üres konzervdoboz vagy befőttesüveg kell hozzá.

Kísérlet. Tegyük kevés összegyűrt papírt a konzervdoboz vagy a befőttesüveg fenekére, és erre fektessük az órát. Ha a doboz nyílásához tartjuk fülünket, természetesen halljuk az óra ketyegését. Mozdítsuk oldalt fejjünket, hogy ne halljuk a ketyegést. Tartsunk most síklapot (levelezőlapot) a doboz nyílása fölé (115. ábra) alkalmas hajlással; ha eltaláljuk azt az állást, amikor a lapról visszavert hanghullámok a fülünkhöz érnek — jól hallható lesz a ketyegés.



115. A hangvisszaverődés így is jól megfigyelhető. — Változtassuk a kézzel tartott lap hajlásszögét — változik a visszavert hang iránya is

A magasabb hangokat rövidebb úton nyeli el a levegő

Egy megfigyelés a szabadban. Egyszer tőlem mintegy 10 m-nyire kaszát kalapáltak. Minden ütés csengő hangot adott. De a hang az utca másik oldalán álló házsorról visszaverődött. Ez a visszhang tompa puffanás volt. Tehát minden ütésre tompa visszhang válaszolt.

Miért hiányoztak a visszhangból a hangot csengővé tevő magas hangok? — Mert a levegő elnyelte őket. Az ütés helyétől közvetlenül érkező hangnak csak 10 m utat kellett megtenni, a visszhangban visszaérkező hangnak azonban legkevesebb 60 m-t. Ezen a hosszabb úton elnyelődnek a levegőben az ütés zöreijében levő magas hangok.

Ezt a jelenséget a szabadban visszhangos helyen mi is könnyen előidézhetjük és megfigyelhetjük. — De sokkal egyszerűbb, ha csendes szobában hozzuk létre.

1. Közvetlen kísérlet a zsebórával. A zsebóránk (karóránk) billegőjének ütődésekor (a ketyegéskor) keletkező fémes hangban igen magas hangok is jelen vannak.

Tegyük fülünket a felfüggesztett óra közvetlen közelébe: igen jól halljuk ezeket a csilingelő magas hangokat. Távolítsuk fejünket az órától; már néhány centiméter távolságban nem hallhatók a ketyegést kísérő magas hangok, még távolabbról pedig csak a mély tak-tak hangok hallatszanak.

Még meglepőbb és meggyőzőbb a jelenség, ha a kísérletet úgy módosítjuk, hogy a közletről hallható magas tin-tin hangokat közvetlenül összehasonlíthassuk a hosszabb út megtétele után fennmaradó mélyebb tak-tak hangokkal. Ezt tesszük a következő kísérletben.

2. Kísérlet. Fülünket olyan közel tesszük a függő órához, hogy a ketyegés csilingelő magas hangjait még hallhassuk. Tegyük most egy lapot fülünk és az óra közé; a lap elárnyékolja a hangot — semmit sem hallunk.

Most oldalt egy másik lapot tartunk, amely az elárnyékoló lap mögé visszaveri a hangot, mint a 113. ábrán látható előző kísérletünkben. Ekkor mély hangú tak-takolást hallunk, de ha felemeljük a hangárnyékot okozó lapot, akkor halljuk a csilingelő magas ketye-

gést. Ekkor ugyanis az órától a fülünkig rövid távolságon jut el a hang. — Ha újra fülünk elé tartjuk az árnyékoló lapot, akkor a hosszabb úton visszavert hang jut csak a fülünkhöz, ezen a hosszabb úton elnyelődnek a ketyegést kísérő magasabb hangok.

Még meglepőbb kísérlet a magas hangok elnyelésére

1. Kísérlet. Hallgassuk a fülünkhöz közel tartott karóra ketyegését. — Azután tegyünk fülünkre összehajtogatott zsebkendőt, és erre szorítsuk rá a karórát. Tompa, mélyebb ketyegést hallunk, eltűntek belőle a magas, csilingelő hangok.

2. Kísérlet. Kössünk villát vagy kanalat zsinegre. A zsineg két végét szorítsuk két fülünkhöz. Lódítsuk neki a villát az asztal szélének vagy a tűzhely oldalának. A hangot meglepően erősen halljuk (116. ábra).



Megpróbálkozhatunk egészen gyenge ütéssel — amikor levegőn át roppant gyengén vagy egyáltalában nem halljuk a hangot, de a zsinegen át jól halljuk. — A zsinegen át még 20-30 másodperc múlva is jól halljuk a megütött villa vagy kanál bűgását, — pedig a levegőn át már régen nem hallható.

Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy a szilárd testek (a kifeszített zsineg) igen jól vezetik a hangot, jobban, mint a levegő. — Természetesen ebben annak is része van, hogy míg a levegőben a hang minden irányban terjed, addig zsinegünkben legnagyobbrészt a zsineg irányában, tehát együtt marad.

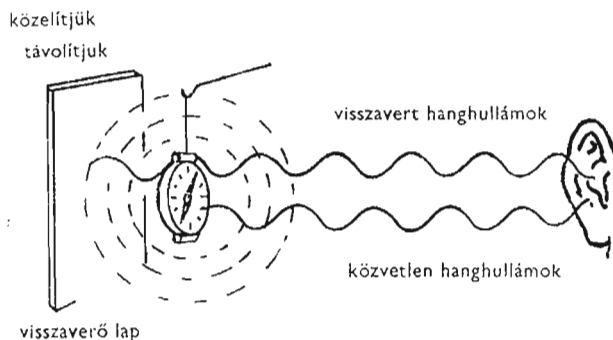
116. Meglepően erős, harangzúgásszerű hangot hallunk hosszú ideig, ha a villát (kanalat) az asztal széléhez lódítjuk

3. Kísérlet: néhány centiméter hosszú zsineg elnyeli a magas hangokat. Ha a zsinegen függő villa hegyét kemény tárgyhoz, például vasdarabhoz, a vastűzhely széléhez ütjük, igen magas hangokból álló, fémes csengést hallunk, mégpedig nagyon erősen.

Hallgassuk ugyanezt a csendülést a zsinegen át! Eltűnnek a csengő hangok, és csak a villa fogainak mélyebb zengése jut fülünkbe. A zsineg ugyanis elnyeli a magas hangokat. **A magas hangok a zsinegben, éppen úgy, mint a levegőben, előbb elnyelődnek, mint a mély hangok.**

Hanghoz hangot adunk és — csend lesz

Kísérlet. Legyen fülünk néhány centiméternyire az órától, hogy jól halljuk a ketyegést. Tartsunk most egy sík visszaverő lapot közvetlenül az óra mögé (117. ábra). Ekkor — mint már tudjuk — a ketyegést erősebben halljuk.



117. Kísérletben találkoztatjuk a hangokat. Az órától közvetlenül és visszaverődve is érkeznek hanghullámok a fülünkhöz. Találkozásuk okozhat hangerősödést és hanggyengülést is

Nagyon lassan távolítsuk az órától a visszaverő lapot, és figyeljük közben a ketyegés erősségét. Lesz a visszaverő lapnak olyan távolsága, amikor a ketyegés erősen elhalkul, de ha ennél közelebbre vagy távolabbra mozdítjuk el a lapot, a ketyegés megint erősödik.

Magyarázat: fülünkhöz az órától közvetlenül is érkeznek hanghullámok, a visszaverődés után is. A közvetlenül érkező hanghullámok találkoznak (interferálnak) a visszavertekkel. Ha a hanghullámok azonos hullámállapotban találkoznak (például hullámhegy hullámhegygel vagy hullámvölgy hullámvölgygel), akkor erősítik egymást, ha pedig ellenkező hullámállapotban találkoznak (például hullámhegy hullámvölgygel), akkor gyengülés az eredmény.

A kísérlet alatt nemcsak a hang **erősségében** veszünk észre változást, hanem a hang **színezetében** is. Ugyanis a ketyegés zöreje. A zörejben pedig sokféle, különböző hullámhosszúságú hang van jelen. Miközben távolítjuk, közelítjük a visszaverő lapot, hol az egyik, hol a másik hang erősödik vagy gyengül.

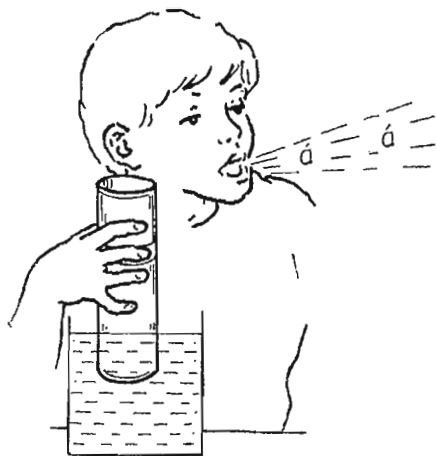
A hang mint hullám

Megmérjük a hang hullámhosszát

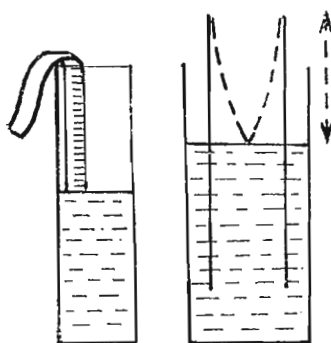
Szükségünk vagy egy 20-30 cm hosszú, 2-8 cm átmérőjű csőre (műanyag, üveg is lehet). De magunk is könnyen készíthetünk üres konzervdobozokból. Vágjuk ki a fenekét is a doboznak. Ha például 3 darab, egyenként 8 cm magas ilyen dobozt egymásra helyezünk, akkor 24 cm hosszú, jól használható csövünk lesz (118. ábra). Dugjuk a vízbe a csövet. Töltsünk meg egy szélesebb szájú befőttesüveget vagy egy fazekat vízzel. Merítsük bele a csövet (119. ábra). Hajoljunk fülünkkel a cső nyílása fölé, és hallassuk állandóan például az „á” hangot. Közben lassan emeljük, süllyesszük a csövet. A cső egy bizonyos helyzetében a hang erősödik. Ha feljebb emeljük vagy mélyebbre süllyesztjük a csövet, akkor ez az erősödés (együtt-hangzás = rezonancia) megszűnik.



118. Konzervdobozokból összetapasztott cső



119. Hallassuk ugyanazt a magasságú hangot, és hallgatózzunk a csőbe, miközben lassan emeljük, merítjük a csövet. Egyszer csak feltűnően erősen hangzik a hang a csőben



120. A csőbe lógatott centiméterskálával megmérjük a vízből kiálló csőnek a hosszát, amikor a legerősebb a hang a csőben. Ekkor a vízből kiálló csődarab hossza akkora, mint a hang hullámhosszának a negyedrésze

Állapítsuk meg pontosan, hogy milyen bemerüléskor legerősebb a csőben hallott hang, és akkor mérjük meg a cső vízből kiálló részének a hosszát (120. ábra).

Hallassunk most az előzőnél magasabb hangot, és keressük meg újra a cső ki-be tologatásával azt a helyet, amikor legerősebb a hang. Mérjük meg újra a kiálló csőrész hosszát. Azt tapasztaljuk, hogy a hang magasságának változtatásával ez a csőhossz változik, mégpedig magasabb hang esetén rövidebb lesz.

A kiálló csőhossz akkora, mint a hang hullámhosszának a negyedrésze (120. ábra). A kísérlet segítségével tehát megmérhetjük valamely hang hullámhosszát. — Pontosabb eredményt kapunk, ha a lemért hosszúsághoz még hozzáadjuk a cső fülünk előtt levő nyílása átmérőjének a harmadrészét.

Megmérjük a hang terjedési sebességét

Hangszerüzletben olcsón vásárolhatunk hangsípot, amit hegedűsök használnak hangszerük hangolására, és karmesterek adják meg vele a hangot. Ha a hangsípval kiadjuk a normál „a” hangot, akkor másodpercenként 440 rezgésű hang hallatszik.

Mérjük meg az előző módon ennek a hangnak a hullámhosszát. — Célszerű, ha a síp megfűvése után magunk adjuk ki ezt a magasságú hangot, és a csővel kikeressük a rezonancia helyét. Kísérletünkben akkor hallottuk legerősebben az „a” hangot, amikor 16,7 cm-nyire állott ki a vízből a cső. — Az általam használt, konzervdobozokból készült cső átmérője 7,5 cm volt. Ennek harmadrésze 2,5 cm. Ezért kísérletünk szerint az „a” hang hullámhosszának negyedrésze = $16,7 \text{ cm} + 2,5 \text{ cm} = 19,2 \text{ cm}$.

Az egész hullámhossz ennek négyszerese, azaz

$$19,2 \text{ cm} \times 4 = 76,8 \text{ cm}$$

Mialatt az „a” síp egy rezgést végez, a hang egy hullámhossznyira távozik. De mivel 1 s alatt a síp 440 rezgést végez, azért hangja $76,8 \text{ cm} \times 440 = 33\,800 \text{ cm} = 338 \text{ m}$ -nyire halad. Mérésünk szerint tehát ennyi a hang terjedési sebessége.

Ez kitűnő eredmény, mert a hang 15°C -os levegőben 1 s alatt valóban 340 m utat tesz meg.

Ha tehát ismerjük egy hang rezgésszámát és megmérjük hullámhosszát — **kiszámíthatjuk a hang terjedési sebességét.**

Ha pedig ismertnek tekintjük a hang terjedési sebességét: 340 m/s, akkor a cső segítségével megmérhetjük valamely hang rezgésszámát. — Végezzünk először egy ismert rezgésszámú hangsíp segítségével ellenőrző mérést, hogy lássuk, mennyire lehet bízni módszerünkben.

Megmérjük a „d” hang rezgésszámát

Négyzólamú hangsíp olcsó áron kapható a hangszerboltban. Megszólaltatható rajta a „d” hang külön is. — Mennyi lehet ennek a rezgésszáma?

Megfújjuk a „d” sípot, utána hangoztatjuk ugyanazt a magasságú hangot, és behallgatózunk a vízbe merülő csőbe. Azt tapasztaljuk, hogy ha egészen kihúzzuk, akkor sem találjuk meg a helyes rezonanciahelyet. A csövet meg kell hosszabbítani. Ez könnyen lehetséges úgy, hogy egy ív papirost hengeresre hajtogatunk, és ezzel a papírcsővel meghosszabbítjuk bádogcsövünket. (A bádogcső másik végét merítjük a vízbe.)

Egyik kísérletünkben azt találtuk, hogy a vízfelszín 26,5 cm-re volt a cső végétől a hangerősödés esetén. Ezért a „d” hang mért hullámhosszának negyedrésze $26,5 \text{ cm} + 2,5 \text{ cm} = 29 \text{ cm}$, a teljes hullám hossza pedig $29 \text{ cm} \times 4 = 116 \text{ cm}$. A „d” hang rezgésszáma pedig:

$$\text{rezgésszám} = \frac{\text{a hang terjedési sebessége}}{\text{a hang hullámhossza}},$$

tehát $340 \text{ m/s} : 1,16 \text{ m} = 293$ rezgés másodpercenként.

Eredményünk pontosságát könnyen ellenőrizhetjük, ha összehasonlítjuk a hangoknak a fizikakönyvekben található rezgésszámával. — Itt közöljük a normál „a” hang környezetében levő hangok rezgésszámát:

c	d	e	f	g	a	h	c'
262	294	330	349	392	440	493	524

Kísérletünkben a „d” hangra 294 rezgés helyett 293 rezgést kaptunk — tehát egyszerű módszerünk nagyon jól használható.

Hányas rezgésszámú hangon beszélünk ?

A nők beszédhangja általában magasabb (nagyobb rezgésszámú), mint a férfiaké. — Ha bárkit megkérdeznénk, hogy közönséges tár-

salgáskor hangja milyen magas, milyen zenei hangok közé esik, aligha lenne sejtelve róla. Csövünkkel ezt is meghatározhatjuk.

Adjunk ki szokásos társalgási beszédünk hangmagasságán egy hangot (például mondjuk áááá...), és figyeljük meg, hogy a vízbe mártott, meghosszabbított cső milyen állásakor tapasztalunk hangerősödést.

Saját hangomra vonatkozó kísérletben 37,5 cm hosszú csőrész állott ki a vízből. Ezért hangom negyed hullámhossza $37,5 + 2,5 = 40$ cm, a teljes hullámhossza pedig ennek négyszerese, azaz $160 \text{ cm} = 1,6 \text{ m}$.

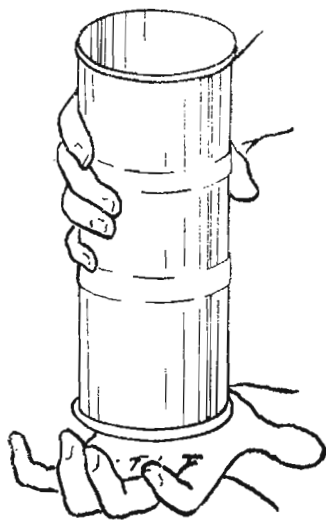
Beszédhangom rezgésszáma tehát $340 \text{ m/s} : 1,6 \text{ m} = 212 \text{ rezgés/s}$.

A táblázatból megállapítható, hogy ez valamivel a normál „a” hang alsó oktávja (220 rezgés/s) alatt van.

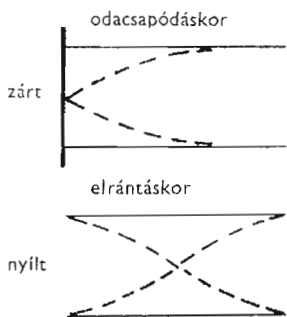
A hang és oktávja

Kísérlet. Fogjuk a csövet bal kezünkbe, és jobb kezünk tenyerével ütöges-sük alsó nyílását. — Két hangot hallunk. Egy mélyebbet és egy magasabbat. Mélyebbet abban a pillanatban hallunk, amikor tenyerünk a cső végére csapódik, a magasabb hangot pedig akkor halljuk, amikor elrántjuk tenyerünket a cső végétől (121. ábra).

Akinek jó zenei hallása van, észreveszi, hogy a magasabb hang éppen oktávja a mélyebb hangnak.



121. Ütöges-sük tenyerünkkel a cső nyílását — odacsapódás után hirtelen rántsuk el tenyerünket a csőtől. — Egy mélyebb és egy magasabb hangot hallunk



122. Amikor tenyerünk a cső végére csapódik, kétszer hosszabb hullámú (mélyebb) hang keletkezik, mint akkor, amikor tenyerünket elrántjuk, és a cső mindkét vége nyílt lesz.

Miért keletkezik a tenyér elrántásakor a másik hangnak az oktávja? Az oktávhangok közül egyiknek rezgésszáma éppen kétszerese a másiknak. Tehát az egyik oktávhang hullámhossza a másik hang hullámhosszának éppen fele kell legyen.

Egy cső zárt végén a hullámnak mindig csomópontja, a nyílt végén pedig legnagyobb kirezgése van. Rajzoljuk meg a hullám képét egyik végén zárt cső esetében (tenyerünk a cső végére csapódik), és mindkét végén nyílt cső esetében (tenyerünket elrántjuk a cső végétől, 122. ábra).

Látható, hogy a tenyér odacsapódásakor kétszer hosszabb hanghullám keletkezik. Tehát a tenyér odacsapódásakor keletkező hang rezgésszáma kétszer kisebb, mint a másik esetben, ezért hallunk kétszer kisebb rezgésszámú hangot, a másiknak alsó oktávját.

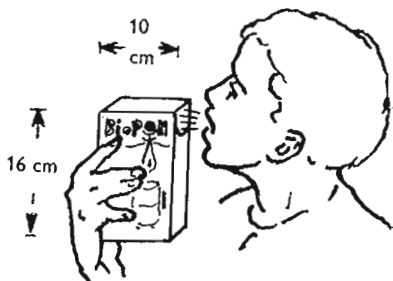
Tenyerünk mint érzékeny rezgésjelző

1. Kísérlet. Fogjuk be tenyerünkkel a cső nyílását, és a másik nyílást tartjuk szánktól néhány centiméterre. Hallassunk egymás után különböző magasságú hangokat. Tenyerünkön néha rezgést érzünk (123. ábra). — Akkor rezeg legerősebben tenyerünk, ha azt a hangot hallatjuk, amit a cső akkor ad, ha tenyerünkkel nyílására ütünk.

2. Kísérlet. Miközben a rádióban szól a zene, vigyük közelébe a csövet, és fogjuk be szélesebb nyílását. Néha megrezzen tenyerünk —



123. Fogjuk be tenyerünkkel a cső nyílását. A cső másik nyílásába hallassunk különböző magasságú hangokat. Néha erős rezgést érez a tenyerünk



124. A papírdoboz oldala a hangra rezgésbe jön. Bizonyos magasságú hangra igen erős rezgést érez ujjunk

a csőben levő levegő ekkor együtt hangzik a zenében levő megfelelő magasságú hanggal (rezonál rá). — Érdekes, hogy ha kezünk fejéhez vagy arcunkhoz szorítjuk a cső végét — nem érezzük a rezgést. Tenyerünk tehát nagyon érzékeny a nyomásváltozásokra.

3. Kísérlet: a legegyszerűbben. Ujjunk hegyét rezegtetjük hanggal. Egy közepes nagyságú üres mosóporos doboz nagyon alkalmas a kísérletre. A mosóporral telt doboz keskenyebb oldalán a 124. ábra szerint kb. 2 cm átmérőjű lyukat metszünk. Ezen át folyik majd ki használatkor a mosópor, kísérletünkre pedig egy ép, lyukas doboz marad. Fogjuk kezünkbe a dobozt az ábra szerint úgy, hogy ujjaink a doboz oldalának középső részéhez érjenek. Tartsuk a lyukat közvetlenül szánk elé, és hangoztassuk az „á” hangot különböző magasságban. Néha érezzük ujjainkkal, hogy a doboz erősen rezeg.

Tartsuk a dobozt lyukjával a rádió hangszórója közelébe. Bizonyos magasságú beszéd- vagy zenehangra most is erősen rezeg a doboz oldala.

Hangok kiválasztása egy hangegyvelegből rezonanciával

1. Kísérlet. Miközben szobánkban járkalunk, hallgatózzunk bele a cső nyílásába, és közben tenyerünkkel hol zárjuk el, hol hagyjuk szabadon a cső másik nyílását. Ha befogjuk a nyílást, mélyebb hang hangzik a csőből, ha szabadon van a nyílás, magasabb hang.

Magyarázat: a léptek zöreijében igen sokféle magasságú hang fordul elő. Közülük a nyílt cső a rövidebb hullámhosszú, magasabb hangokat erősíti együtthangzás (rezonancia) révén, a zárt cső pedig a hosszabb hullámú (mélyebb) hangokat.

2. Kísérlet. Hasonlót tapasztalunk akkor is, ha a zenét adó rádió mellett hallgatózzunk bele a csőbe, és hol befogjuk a másik végét tenyerünkkel, hol szabaddá tesszük. Az első esetben mélyebb, a másodikban magasabb lesz a zene hangszínezete. Ugyanis a zárt cső a zenének mélyebb hangjait, a nyílt cső a magasabbakat erősítette meg a többiek rovására.

3. Kísérlet. Ha teljesen csendesnek látszó szobában hallgatózzunk bele a zárt vagy nyílt csőbe, akkor is hallunk egy mélyebb, illetve magasabb zúgást. Körülöttünk ugyanis soha nincsen teljes csend — az alig hallható hangok, zajok sokasága vesz körül bennünket. A csendben mindenféle magasságú hangok megtalálhatók, de esetleg éppen a hallhatóság határán vannak. A cső vagy más edény (kagyló), amelybe behallgatózzunk, a rezonancia révén felerősíti a halk hangok közül azt, amelynek rezgésszáma a neki megfelelő.

4. Kísérlet: egyszerű, meglepő. Távozzunk el az órától olyan meszszire, hogy éppen ne halljuk már a ketyegést. Akkor szorítsuk fülünkre tenyerünket, és tenyerünknek az óra felé fordított szélét óvatosan emeljük fel, hogy egyre nagyobb rés nézzen az óra felé.

Egyszer csak jól halljuk a ketyegést. De nem halljuk, ha nagyfítjuk vagy csökkentjük ezt a fülünk és tenyerünk közé zárt, éppen rezonáló térfogatrészt.

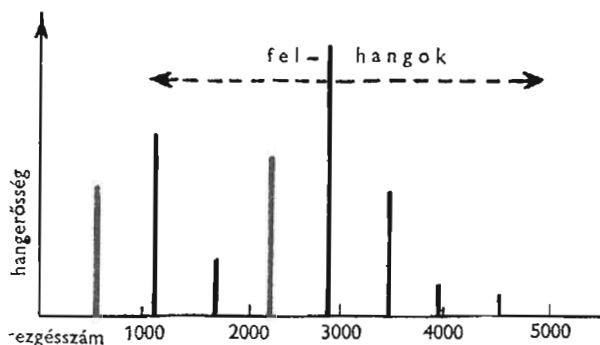
Ily módon a hallástávolságot 8-10-szeresre is növelhetjük.

Bebizonyítjuk, hogy a mindennapos csendben mindenfajta hang jelen van

Kísérlet. Dugjuk be egy fazék vízbe a csövet, és miközben belehallgatunk, nagyon lassan emeljük, süllyesszük. — Közben mi ne adjunk hangot, és mégis **állandóan hallunk hangot.** — Ha kifelé emeljük a csövet, akkor emelés közben a hang magasodik, ha mélyebbre süllyesztjük, mélyül. Minthogy a csőben levő levegőoszlop minden helyzetben más-más hangra rezonál, tehát azoknak a hangoknak, amelyeket kiemel a látszólagos csendből, benne kellett lenniük a „csendben”.

Kimutatjuk a felhangokat

1. Kísérlet. Hangoztassuk rendes beszédünk hangmagasságán az „á” hangot. A vízbe merülő csőben valahol 20-25 cm-nyire kiálló hosszúság körül megtaláljuk — teljes csendben — az alaprezgésnek megfelelő nagyon gyenge rezonanciahelyet. — Merítsük ezután egyre mélyebbre a csövet figyelmes hallgatózással; még három más helyen is hangerősödést, rezonanciát találunk, mégpedig 15-16 cm között



125. Ezekből a rezgésekből van összetéve egy 564 rezgésszámú hegedűhang. Látható, hogy némelyik felhang erőssége nagyobb lehet, mint az alaphang erőssége

egy elég erőset, 12-13 cm között szintén egy elég erőset, és 10-11 cm között egy gyengét.

És most következik a **meglepetés**: ha az „á” énekhangot magasabban vagy mélyebben hangoztatjuk, akkor — egész természetesen — megváltozik az alaphang rezgésszáma, tehát kísérletünk szerint másutt rezonál az alaphangra a cső. — Ellenben a 15-16 cm, 12-13 cm és a 10-11 cm közötti rezonanciahelyek állandóak maradnak! Az ezeken a helyeken hallható hangokat nevezzük **az alaphangot kísérő felhangoknak**. Kísérletünkben igen szembetűnően megállapítható az, hogy az alaphangnak megfelelő rezgés nagyon gyenge, viszont az első két felhang elég erős. Ebből következik, hogy az alaphanggal együtt rezgő felhangok egyike-másika erősebb lehet, mint az alaphang (125. ábra).

2. Kísérletünk megmutatja, hogy milyen nagy fontossága van a felhangoknak. — Fújuk meg hangsípon a „d” hangot, és keressük meg ennek a síphangnak a felhangjait. Azt tapasztaljuk, hogy a 15-16 cm közé eső felhang roppant erős, 12-13 cm között nem hallunk felhangot, 10-11 cm között igen gyengét.

Ha ugyanilyen magasan énekeljük az „á” magánhangzót, akkor a 12-13 cm között elég erősen halljuk azt a felhangot, ami **a síphang esetén hiányzik**.

Gyakran kérnek választ erre a kérdésre: ha ugyanazt a magasságú hangot adjuk ki sípon (vagy bármely más hangszeren) és énekhangon (férfi, nő, gyermek), azonnal meg tudjuk mondani, hogy milyen hangforrásból származik a hang — jóllehet rezgésszáma ugyanaz. — **Hogyan lehetséges ez?**

Előző kísérleteink alapján a **válasz** világos és érthető: **az alaprezgések száma ugyanaz, de más a kísérő felhangok erőssége és száma**. Ezek a **felhangok adják meg az egyes hangszer hangjának a hangszínezetét**, azaz azt a tulajdonságot, aminek alapján meg tudjuk egymástól különböztetni a különböző hangforrásokból származó, de egyazon magasságú hangokat is. A hangokat különböző színezetűre formáló felhangok neve: **formáns**.

3. Kísérlet. Énekeljük azonos magasságú hangon az á, ó, u, i, é

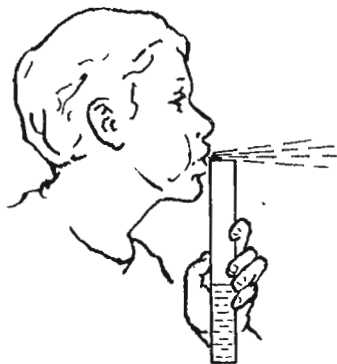
magánhangzókat, és keressük meg felhangjaikat. Azt vesszük észre, hogy a felhangok erőssége különböző, amint ez már a 2. kísérletben is feltűnően észrevehető volt a síphang és énekhang esetén.

4. Kísérlet. Beszéljünk bele fazékba vagy nagyobb befőttesüvegbe. Hangunknak más színezete lesz, mert az edényt kitöltő levegő együtt-hangzása megerősít bizonyos felhangokat.

Rövidebb síp magasabb hangot ad

Kísérlet. Fújjunk el üres orvosságos üvegcső vagy próbacső nyílása felett. Kevés próbálgatás után sikerül sípoló hangot kelteni. — Töltsünk kevés vizet a csőbe, a hang magasabb lesz. Minél inkább meg-rövidítjük a csőben levő levegőoszlopot a víz beöntésével, annál maga-sabb lesz a hang (126. ábra).

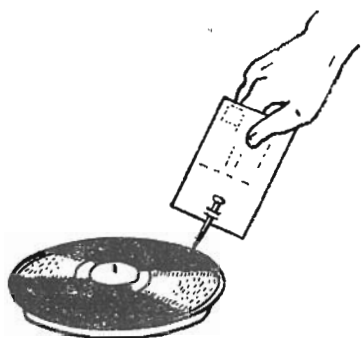
126. Ha egyre több vizet öntünk a csőbe, egyre magasabb síphangot kelthetünk



A zenélő levelezőlap

1. Kísérlet. Indítsuk el a gramofont, de ne tegyük rá a lejátszókart, hanem egy levelezőlap ép sarkát tartsuk a lemez hangbarázdájába. — Halljuk a lemezre vett zenét vagy beszédet.

2. Kísérlet. Sokkal erősebben és tisztábban halljuk a hangot, ha egy gombostűt szúrunk a levelezőlapba (127. ábra), és a gombostű hegyét tartjuk a hangbarázdába. Ehhez a kísérlethez régi, rossz lemezt használjunk, mert a gombostű durva hegye tönkreteszi a hangbarázdát.



127. Ha a levelezőlapba tűzött gombostű hegyét a gramofonlemez barázdájába tartjuk, halljuk a hangot, a zenét

Melyik fülünkkel hallunk jobban?

Kísérlet. Fordítsuk egyik fülünket a felfüggesztett zsebóra felé, a másik fülünket fogjuk be, és távolodjunk olyan messzire, ahol már éppen nem halljuk a ketyegést. Jegyezzük meg ezt a távolságot.

Ezután a másik fülünkre vonatkozóan is végezzük el a kísérletet. Ha mindkét fülünkkel egyformán jól hallanánk, akkor a megfigyelt távolság mindkét esetben ugyanakkora lenne.

Azonban nem kis meglepődéssel vesszük észre, hogy két fülünkre vonatkozóan esetleg nagyon eltérő eredményt kapunk, két fülünk hallásélessége igen különböző lehet.

Ugyanígy megvizsgálhatjuk a család különböző tagjainak hallásélességét. Nagy különbségeket találunk.

A közeledő síp hangja magasabb

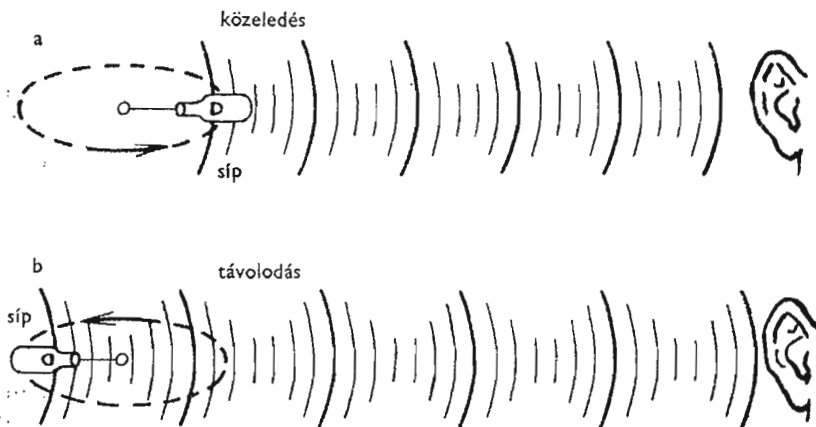
Kísérlet. Dugjunk sípot kb. 1,5 m hosszú gumicső egyik végébe. A másik végén fújjunk a csőbe. A füttyülő sípot most forgassuk körbe fejünk felett. Néhány méterre tőlünk hallgassa valaki a sípot (128. ábra).

A körbeforgatott síp hol közeledik, hol távolodik a hallgató fülétől — eközben hol magasabb, hol mélyebb hangot hall a figyelő.

A hozzá közeledő síp hangját magasabbnak hallja, mint a nyugalomban levő sípét, a tőle távolodóét pedig mélyebbnek.

A mindennapi életben gyakran tapasztalunk hasonló jelenséget, például ha gépkocsi suhan el mellettünk, a kocsi zúgása azonnal mélyebb hangba csap át, mihelyt távozóban van a jármű. Ugyanezt tapasztalhatjuk akkor is, ha szirénázó mentőautó halad el mellettünk.

Magyarázat: ha a hangforrás (a síp) áll, akkor minden irányban egyenlő hosszú hullámok indulnak ki belőle. Ha azonban mozog, akkor a mozgás irányában a hullámok összesűrűsödnek, megrövidülnek (*128a ábra*), ellenkező irányban pedig meghosszabbodnak (*128b*). De rövidebb hanghullám magasabb hangot jelent, a hosszabb hanghullám pedig mélyebb hangot. Ezért változik a hang magassága aszerint, hogy a hangforrás közeledik vagy távolodik a megfigyelőtől. Ezt a jelenséget a fizikusok **Doppler-féle jelenségnek** nevezik, mert Doppler osztrák matematikus mutatott rá először 1842-ben.



128. Ha a körbeforgatott síp közeledik hozzánk, a felénk tartó hanghullámok összesűrűsödnek, a rezgések szaporábban érik fülünket, magasabb hangot hallunk (a). A síp távolodásakor a hanghullámok szét húzódnak (b)

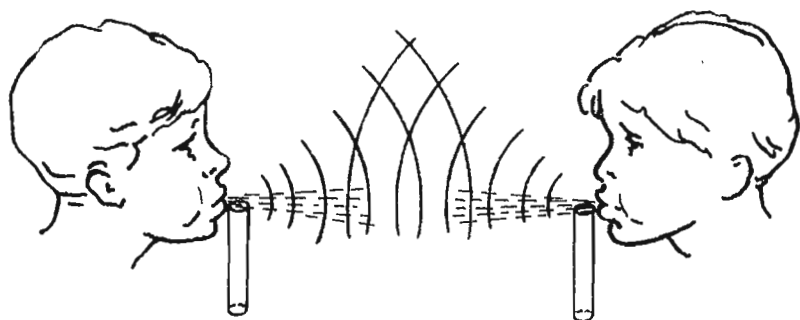
Hanglebegések előállítása

Szükséges hozzá két üres orvosságos üvegcső (fiola) vagy két próbacső.

Egy kísérletben már leírtuk, hogy füttyülő hangot lehet kelteni, ha egy ilyen üvegcső felett alkalmasan elfújunk. — Ha a két cső ugyanolyan hosszú, akkor ugyanolyan magas hangot adnak.

De lehet, hogy különböző hosszúságú csöveink vannak. Abba, amelyik mélyebb hangot ad, töltünk vizet mindaddig, amíg hangjuk nem lesz ugyanolyan magas.

Kísérlet: a két (egyenlő magasra hangolt) csövet szólaltassa meg egyszerre két személy. Rendszerint gyorsan és szabályosan egymásra következő hangerősödést, gyengülést hallunk (hanglebegés) — mintegy trillázik a két hang összetevéséből keletkező új hang (129. ábra).



129. A két sípból kiinduló hanghullámok találkoznak, és hanglebegést okoznak

Ha nem jelentkezik ez a hanglebegés, akkor az egyik csőbe (például fapálcikával) cseppentsünk egy-egy csepp vizet (vagy távolítsunk el egy-egy csepp vizet), és közben újra szólaltassuk meg egyszerre a sípokat, míg hanglebegést nem hallunk.

Ha a két cső **egészen pontosan** egymásra van hangolva, akkor nem jelentkezik lebegés. De ha például az egyik cső másodpercenként 300 rezgésű hangot ad ki, a másik pedig 303 rezgésűt, akkor — ha a

két cső egyszerre szól — a hangban másodpercenként 3 erősödés és gyengülés (lebegés) jelentkezik.

Ha a találkozó hangok rezgésszámainak különbsége 10-nél több, például 15, akkor másodpercenként 15 lebegés keletkezik, de az ilyen szaporán egymásra következő erősödéseket-gyengüléseket fülünk már nem tudja egymástól megkülönböztetni — nem hallunk lebegést, külön halljuk a két hangot.

Ha van két „a” (vagy más hangmagasságú) hangsípunk, szólaltassuk meg egyszerre a kettőt — lebegéseket hallunk, hacsak a két síp hangjának rezgésszáma nem különbözik egymástól 10-nél több rezgéssel (akkor sem hallunk lebegést, ha pontosan össze vannak hangolva, de ez nem szokott előfordulni).

2. Kísérlet: mennyivel különbözik egymástól két, állítólag ugyanarra a hangmagasságra hangolt hangforrás (síp, hangvilla, hegedűhúr) rezgésszáma?

Szólaltassunk meg egyszerre két „azonos” hangú hangforrást, és figyeljük meg, hogy másodpercenként hány lebegést hallunk?

Példánl: a) Két azonos hangmagasságú hangvillát akartam venni. A készletből kiválasztott darabok közül kettőt, egyszerre ütve az asztallaphoz, megszólaltattam. — Végre sikerült két olyan hangvillát találnom, amelyeket egyszerre hangoztatva kb. 2 másodpercre esett 1 lebegés. Tehát a két hangvilla rezgésszáma másodpercenként kb. fél rezgéssel különbözött egymástól. (Mennyi volt a valódi rezgésszámuk? — A rezgésszámnak természetesen beütve kellett volna lennie a hangvilla acéljába — de talán nem egészen természetes, hogy: nem volt beütve!)

b) Kíváncsi voltam arra, hogy a hangszerboltban vett „a” hangsíp rezgésszáma és az „a” hangvilla rezgésszáma mennyire egyezik egymással (mindkettőnek 440-nek kellett volna lennie). Megszólaltattam az „a” sípot, és a megütött hangvillát néhány centiméterre tartottam fülemtől: roppant szapora lebegéseket hallottam! Másodpercenként legalább 10-re becsültem számukat. Tehát az „a” hangsíp és az „a” hangvilla rezgésszáma legalább másodpercenkénti 10 rezgéssel különbözött egymástól (megfelel kb. 2%-os hibának).

c) Sokkal jobb eredményt adott két „a” hangsíp hangjának össze-

hasonlítása. Ha egyszerre szóltak, másodpercenként kb. 5 lebegés jelentkezett. Tehát rezgésszámaik között másodpercenként 5 volt a különbség (ez 440 rezgés esetén kb. 1%-os összehangolási hiba).

Példáink megmutatják, milyen fontos, hogy az illető üzemek egy pontos „a” hang normával rendelkezzenek, és gyártott készülékeik hangját erre minél pontosabban beszabályozzák (a lebegések segítségével).

3. Kísérlet. Akinek telefonja van, érdekes kísérletet végezhet a telefonon felhívható normál „a” hanggal is. Egyik fülére szorítsa a telefonkagylót, másik fülét fogja be, és fújja halkán a szájában tartott „a” hangsipot. Kísérletemben másodpercenként kb. 2 lebegést hallottam. Kitűnő egyezés!

A hang terjedése

Télen messzebb hallatszik a hang, mint nyáron

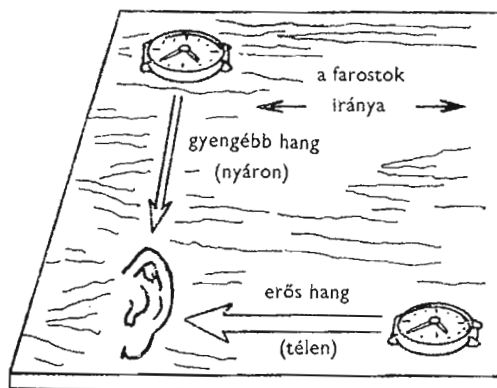
1. Kísérlet. A 130. ábrán láthatunk egy fából készült asztallapot. Jól megfigyelhetjük, hogy milyen irányokban futnak benne a farostok. Úljünk le az asztal mellé, fektessük fülünket az asztallapra. Karóránkat szorítsuk élével az asztallaphoz, fülünktől kb. 30 cm távolságban a farostok irányába (130. ábra 1. helyzet).

Meglepően jól halljuk a ketyegést. Halljuk a ketyegésben a csilingelő magas hangokat is, meg a tompa, mélyebb hangokat is.

Ezután emeljük fel az órát, és fülünktől ugyanakkora távolságban, mint az előbb, szorítsuk élével újra az asztalhoz, de most a farostokra merőleges irányban (2. helyzet).

A ketyegést megint jól halljuk, de nem ugyanúgy halljuk, mint az előbb. Az összehasonlítást úgy végezzük, hogy hol a rostok irányában, hol arra merőlegesen nyomjuk az asztalhoz az órát, és figyeljük a hangját.

Két különbséget veszünk észre. Ha a rostokra merőleges irányban



fül az asztallapon

szorítjuk az órát az asztalhoz, a ketyegésében jóval gyengébben hallatszanak a csilingelő, magas hangok, sőt egészen el is tűnhetnek. — A ketyegés maga is sokkal gyengébben hallatszik ebben a helyzetben.

Miért hallatszik a hang erősebben a rostok irányában? Azért, mert a nagyjából párhuzamosan futó rostok — a közöttük levő puhább anyaggal együtt — úgy viselkednek, mint a csövek. A csőben haladó hang pedig kevésbé gyengül, hiszen a cső belsejében haladó hang energiája nagyjából változatlanul együtt marad. Ezenkívül a rostok irányában terjedő hang meglehetősen egynemű anyagban halad, nem találkozik visszaverő felületekkel, amelyeken szétszóródnék. Ezért is kevésbé gyengül.

De más a helyzet akkor, amikor a hang a rostokra merőleges irányban terjed. Ilyenkor a hang hol a keményebb rostokon, hol a közöttük levő puhább faanyagon halad át, sokszor egymás után. Tehát a hang útjában különböző sűrűségű anyagrétegek vannak: ezek határfelületein a hang egy része visszaverődik és szétszóródik, ezért egyre jobban meggyengülve érkezik fülünkhöz.

A legnagyobb mértékben a gyorsabban rezgő, a magasabb, csilingelő hangok szóródnak szét. Ezek gyengülnek meg legjobban, sőt el is tűnhetnek a ketyegésből.

Mi köze van mindennek a télhez meg a nyárhoz?

Ha fagyos a talaj, a hótakaró felett egyenletesen hideg levegőben, tehát egyenletesen sűrű anyagban terjed a hang. Ezért nincsenek a hangot gyengítő visszaverődések terjedés közben, kevésbé szóródik, kevésbé gyengül a hang. — A helyzet tehát ahhoz hasonló, mint amikor kísérletünkben a **rostok irányában** terjed a hang. Ezért írhatjuk ábránkra a „téli” jelzést.

Nyáron más a helyzet. A homokos talaj felett, az utak és az udvarok felett melegebb a levegő, mint a füves, fás, vízenyős területek felett. Tehát a hang útjában ritkább és sűrűbb levegőrészek vannak. Haladása közben gyakran visszaverődik, szóródik, **gyengül**, éppen úgy, mint amikor az asztallapon a **rostokra merőleges** irányban terjed.

Íme, a fából készült és egy darabból álló asztallapon végzett kísérletek meggyőzően bizonyítják, hogy miért hallatszik télen messzebbre a hang, mint nyáron.

Ha nem próbáljuk meg, talán el sem hisszük

Bizonyára mindegyikünk átélte már azt, hogy miközben a város háztengerében tartózkodott, repülőgép haladt el felette nem nagy magasságban. Ilyenkor a gép zajában feltűnő változásokat hallunk: dübörög, mint a mennydörgés, egy pillanat múlva pedig elhalkul, majd újra erősödik, a suhogásszerű és a dübörgő hangok váltakoznak, és általában gyengül, mélyül a távolodó gép hangja.

Ezt a tapasztalatunkat könnyű megmagyarázni. Fülünkhöz ugyanis egyszerre érkeznek a repülőgépről közvetlenül jövő hangok hullámai és a környező házakról visszavert hanghullámok is. Amikor ezek a fülünkkel találkoznak, hol erősítik, hol gyengítik egymást, a repülőgép pillanatnyi helyzetétől függően.

Hasonló jelenséget idézhetünk elő az asztallapon.

Kísérlet. Fektessük fülünket az asztallapra. Ezután szorítsuk középső ujjunk körmét felületével (ne a hegyével) az asztallapra, és mozgassuk körben, mialatt állandóan súrlódjék az asztallaphoz. — Csalódásig híven halljuk ugyanazokat a hangokat és hangváltozásokat, mint amikor egy repülőgép köröz oldalvást tőlünk.

Ha pedig egyenes vonalban távolítjuk, majd közelítjük fülünkhöz az asztal felületéhez súrlódó körmünket, akkor az egyenes vonalban távolodó, majd közeledő repülőgép jellegzetes hangjelenségeit figyelhetjük meg (erősödés, gyengülés, suhogásszerű hangok, hangszínbeli változások).

Ennek az a magyarázata, hogy körmünk felülete súrlódásának zörejében éppúgy megvannak a legkülönbözőbb hullámhosszú hangok, mint a repülőgép okozta zajban. Jelen kísérletünkben most már pillanatról pillanatra folyamatosan figyelhetjük meg az eredményét azoknak a körülményeknek, amelyek változtatják a hallott hangot.

Egy pénzdarab jól vezeti a hangot

Kísérlet. Tegyük az asztallapra egy radírgumit, és erre szorítsuk rá a karórát. Az asztallapon fekvő fülünkkel nem hallunk hangot. A gumi ugyanis nagyon rossz hangvezető.

Tegyük az asztallapra egy vagy — egymás után következő kísérletekben — több forintost egymásra, és ezekre szorítsuk rá az órát. Jól halljuk a ketyegést. A fémek ugyanis jó hangvezetők.

Hasonlóképpen próbálhatjuk ki más anyagok (papírlapok, összehajtogatott zsebkendő stb.) hangvezető képességét.

Általános tapasztalat az, hogy ha a hang fában, vízben, földben, falban, acélban terjed, sokkal kevésbé gyengül a hang erőssége, mint a levegőben.

Íme egy hihetetlennek látszó adat: tegyük fel, hogy egy csengő hangja a levegőben 200 m messzire hallatszik. Ha a csengő a víz alatt kapna ugyanakkora ütést és a vízben figyelnénk a hangját, akkor nem 200 m-re hallatszana el, hanem 400 km-re!

Ennek oka az, hogy a cseppfolyós anyagokban és a szilárd testekben a molekulák sokkal szorosabb kapcsolatban vannak egymással, mint a levegőben, ezért a részecskék könnyebben át tudják adni egymásnak a rezgéseket.

Halászkok beszélgetnek

Azt mondják, hogy a halászkok a csendes éjszakákon, a víztükör felett néhány száz méternyi távolságból is elbeszélgetnek egymással, mégpedig nem kiabálva, hanem társalgási hangerővel.

Igaz lehet ez?

Bárki bebizonyíthatja, hogy igaz! Nem is kell éjszaka a vízpartra fáradnia.

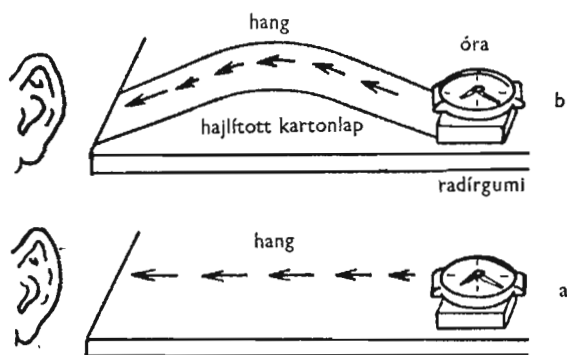
1. Kísérlet. Állapítsuk meg, hogy egy kezünkben tartott zsebóra (karóra) ketyegését milyen távrolról nem halljuk. Legyen ez például 10 cm.

Ezután fektessük le az órát az asztallapra, de úgy, hogy egy lapos radírgumi legyen alatta, tehát az óra ne érjen hozzá az asztallaphoz.

Most figyeljük az óra ketyegését az asztallap közvetlen közelébe tartott füllel. (Fülünk ne érjen az asztallaphoz!)

Meglepően erősen halljuk a ketyegést, bár az óra többször olyan messzire van fülünktől, mint amekkora az előbb megállapított hallhatóság távolsága (a 10 cm).

Toljuk magunktól egyre távolabb a radírgumin fekvő órát addig, amíg egyszer csak már nem halljuk meg a ketyegését az asztallap



131. a) Az asztallap közelében terjedő hang 10–20-szor messzebbre hallatszik, mint közönségesen. b) A hang a terület domborodását is követi, mintegy tapad a felülethez, és távolabbról hallható, mint a rendes hallási távolság

közelében tartott füllel. — A legtöbb esetben ehhez nem elég egy nagy asztallap. Ilyenkor távolodunk az asztaltól, és úgy hallgatózunk az asztallap magasságában (131. ábra), az asztallap képzeletben meghosszabbított síkjában tartott füllel. Egyszer csak már nem halljuk a ketyegést. Mérjük meg most az óra távolságát fülünktől. Egyik kísérletemben ez 2 m volt.

Tehát az asztallap közelében terjedő hang 20-szor távolabbról is hallható volt, mint közönségesen.

Tegyük fel, hogy a társalgási hangerővel beszélő ember hangja a csendben még 20 m távolságban is érthető. Akkor ugyanezzel a hangerővel a víztükör felett, a csendben, 20-szor 20 m, azaz 400 m távolságból is lehet beszélgetni!

A hanghullámok tapadnak a görbe felülethez is

Kísérlet. Az asztallapra fektessünk sima kartonlapot. Tegyük alája valamit, hogy kissé felpúposodjék (131b ábra). A kartonlapon levő radírgumin fekvő óra és a kartonlap közvetlen közelébe tartott fülünk között most már nem sík, hanem domború felület van.

Vajon most is távolabbról hallható az óraketyegés, mint a közönséges hallástávolság? — Igen!

A mostani és az előző kísérletünk tehát azt bizonyítja, hogy a sima felület közelében keltett hanghullámok mintegy hozzátapadnak a felülethez, mégpedig nemcsak akkor, ha a felület sík (víztükör), hanem akkor is, ha kissé görbült.

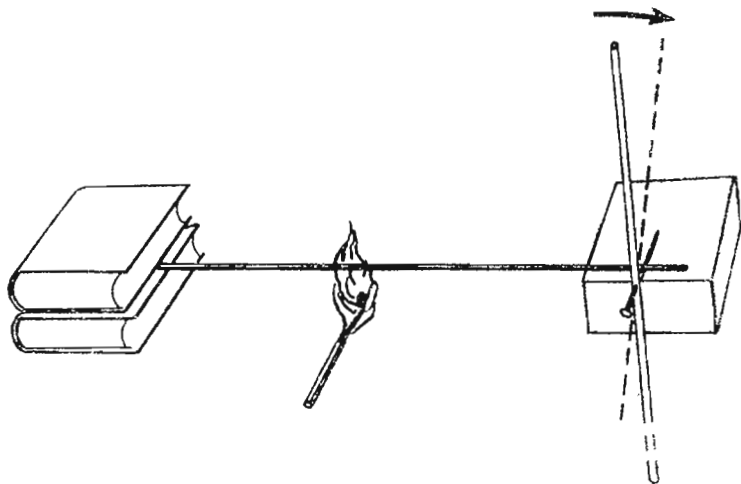
Ez a jelenség hangtani mása annak a már régebről (1910) ismert jelenségnek, hogy ha gázok és folyadékok szilárd felület mentén áramlanak, akkor mintegy tapadnak ehhez a felülethez, követik ennek görbületét. Például a ferdén tartott pohárból kiömlő víz a pohár fala mentén csorog alá.

IV. HŐTANI KÍSÉRLETEK

Az anyagok hőtágulása

Egy gyufaszál melege kiterjeszti a drótot

1. Egyszerű és könnyen összeállítható berendezéssel meglepő kísérletben mutathatjuk be azt, hogy a fémek melegítéskor kitágulnak. Kötőtűt vagy más merev drótot (kerékpár kerekének küllőjét, esernyődrótot) fogjunk be egyik végén úgy, hogy ne mozdulhasson (132. ábra). A másik vége alá tegyünk varrótűt (gombostűt), amely egy üveglapon, vagy más sima felületen fekszik. A tűre szúrjunk szalmaszálat mutatóul. A szalmaszál súlypontján haladjon át a tű, máskülönben a mutató magától is elfordul.

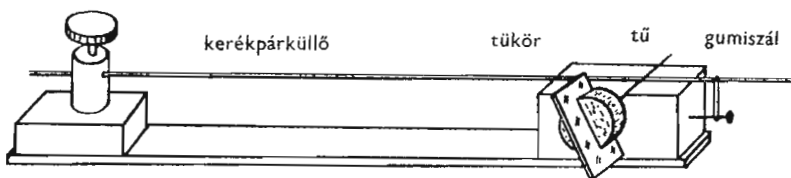


132. A melegített kötőtű meghosszabbodik, elforgatja a gombostűre tűzött szalmaszálat

A kötőtűt (vagy drótot) úgy fogjuk be, hogy a tűt jól leszorítsa.

Ha a kötőtűt (drótot) egyetlen gyufaszál lángjával végigmelegítjük, meghosszabbodik és a meghosszabbodó kötőtűt elhengergeti az alatta levő tűt, a szalmaszál mutató elfordul.

2. Az előbbi kísérlet olyan szép, hogy érdemes **állandóan használatra** kész eszköz alakjában is elkészíteni a 133. ábra szerint. Ez a készülék még a közelébe tartott kéz melegét is megéri.



133. A lánggal melegített kerékpárküllő kitégül. Elforgatja a tűre erősített tükört. Elmozdul a tükörről visszaverődött fénysugár

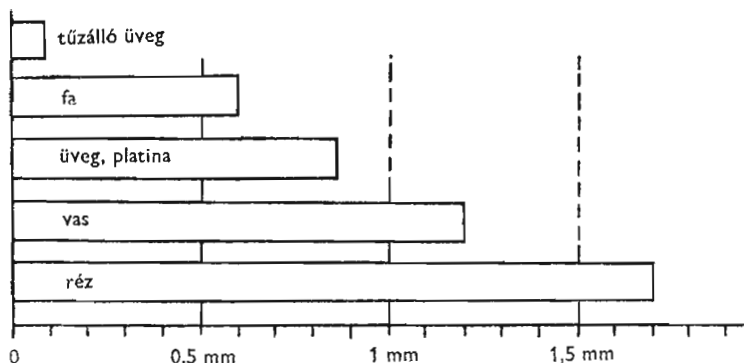
Így készül: Az ábra szerinti csavarba fogjuk be a kötőtűt (kerékpárküllőt vagy egyéb merev drótot). A drót másik vége tűre fekszik. A tűre dugó segítségével tükördarabkát erősítünk (egyszerű, könnyű üveglapocská is lehet, például mikroszkópi fedőlemez). A drót végét gumiszál szorítja a tűre. A gumit az aljzatba vert szeghez kötjük.

A tűre erősített dugót és a tükört jól ki kell egyensúlyozni, különben könnyen elmozdul a drót alatt. A tükörré napfényt vagy izzólámpa fényét vetítjük. A falon fényfoltot látunk. Állítsuk be a fényfoltot úgy, hogy a falon valami megjelölt helyre essék, hogy elmozdulását jól észrevehessük.

Parányi melegítéskor is elmozdul a fényfolt. Ez a drót megnyúlását mutatja.

Összehúzódás hűléskor. Ha a melegítést abbahagyjuk, a drót kihűl, összehúzódik — a fényfolt visszatér eredeti helyére.

A drótot eredeti (szobahőmérsékleti) helyzetéből is összehúzódásra kényszeríthetjük úgy, hogy ecsettel egy csepp spirituszt vagy benzint kenünk szét rajta. Ekkor a fényfolt eredeti helyzetéből ellenkező irányban mozdul ki, ami a lehűlést és összehúzódást bizonyítja.



134. A 100 cm hosszú rúd ennyi milliméterrel nyúlik meg, ha hőmérséklete 100 °C-kal nő

Melyik fém változtatja legnagyobb mértékben hosszúságát?

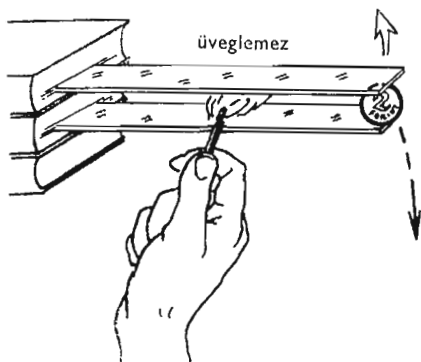
Nézzünk a 134. ábrára. Leolvashatjuk róla, hogy a 100 cm hosszú drót, rúd vagy szalag mennyivel nyúlik meg, ha hőmérséklete 100 °C-kal emelkedik.

Gondolkozzunk: ha kísérletünkben a tükörhöz erősített mutató egyszer teljesen körülfordulna, akkora-e a megnyúlás, mint a π kerülete? (Nem. A megnyúlás kétszer akkora, mint a π kerülete. Próbáljuk ezt magunknak megmagyarázni.)

A hőtágulás legegyszerűbb kimutatása: a csóka

Olyan üvegsíkra van szükségünk, amelyet az ablaküveg bemetszésekor egyszerűen szemétként dobunk mint hulladékot. Az üvegsík szélessége 2-3 cm, hossza 25-30 cm legyen.

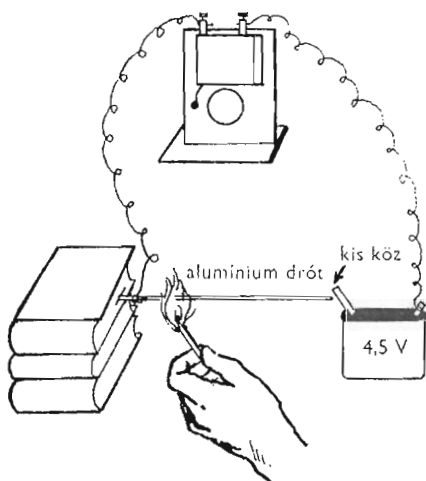
Kísérlet. A 135. ábra szerint két üvegsíkot szorítsunk könyvlapok közé úgy, hogy a szabad végük közé állított pénzdarabot oly gyöngéden tartásák, hogy a pénz éppen csak ki ne essék a két üvegsík közül (a „csóka” csőréből). Ezért az alsó üvegsík vége kissé beljebb legyen, és majdnem a csík vége felett legyen a pénzdarab közepe. Ha ebben a helyzetben a felső üvegsík vége csak kissé is elmozdul felfelé — kiesik



135. Ha gyufalángot tartunk a felső üvegcsík alá, akkor az üvegcsík alsó oldala kitágul, a csík vége felfelé mozdul el, a pénzdarab leesik

közülük a pénzdarab. Tartsunk gyufalángot a felső üvegcsík alá. Ekkor az üvegcsík alsó oldala kitágul, a csík vége elmozdul felfelé, ezért a pénzdarab kiesik a „csóka” csőréből.

A kitáguló drót csengőt szólaltat meg (villanylámpát kapcsol be)



Kísérlet. Szükségünk van egy zseblámpaelemre, egy villanycsengőre, és egy 10-20 cm hosszú, egyenes, 2-3 mm vastag alumínium drótra. Egy kötőtű is megfelel (136. ábra).

A drótot egy vastagabb könyv lapjai közé szorítjuk. Azután az ábra szerint sorba kötjük a drótot, a csengőt és az elemet. Az elem hosszab-

136. A melegített drót kitágul, zárja az elem áramkörét, megszólal a csengő

bik rézlemezét az ábra szerint hajlítjuk meg, hogy a drót vége biztosan érintkezze vele, ha az elemet a drót végéhez toljuk. Megszólal a csengő. Most kissé oldalt húzzuk az elemet, hogy az érintkezés megszakadjon, és parányi kis rés maradjon a drótvég és az elem fémlemeze között.

Melegítsük most gyufalánggal a drótot. A drót megnyúlik, újra a fémlemezhez ér: a csengő megszólal. — Vegyük el a lángot: a drót újra lehűl, összehúzódik. Az érintkezés megszűnik, a csengő elhallgat. Ha újra odatartjuk a gyufát, újra megszólal.

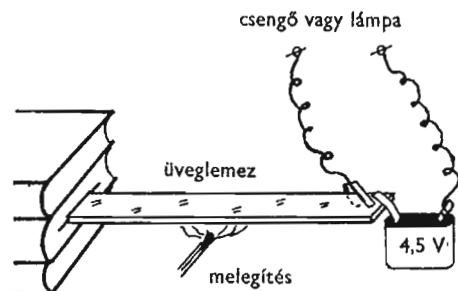
Egyetlen égő gyufaszállal egymás után 5-10-szer is meg lehet szólaltatni a csengőt. — A csengő helyére zseblámpaizzót is tehetünk.

A drót végét és a lemez érintkező felületét időnként csiszolópapírral dörzsöljük le.

Miért reped meg a melegített üvegedény?

Kísérlet. Ez a kísérlet teljesen hasonló az előzőhöz (137. ábra). Csakhogy most egy melegített üvegcsík végzi el a csengő bekapcsolását. Az üvegcsík végére csíptetjük (vagy egyszerűen rátekerjük, iratkapoccsal rászorítjuk) a csengő áramkörének egyik vezetékét. A szárazelem hosszabbik fémlemezét most is hajlítjuk a 137. ábra szerinti alakra. Ha az elemet kissé balra toljuk, a fémlemez hozzáér a csipeszhez, a csengő megszólal.

Mozdítsuk kissé jobbra az elemet, hogy parányi hézag maradjon a réz meg az üveglemezen levő fém között. A csengő elhallgat.



137. A melegített üveglemez csengőt szólaltat meg

Gyufalánggal melegítjük az üveglemez alsó oldalát. Az üveglemez alsó oldala kitágul, ezért a lemez felfelé görbül, és megtörténik az érintkezés: a csengő megszólal.

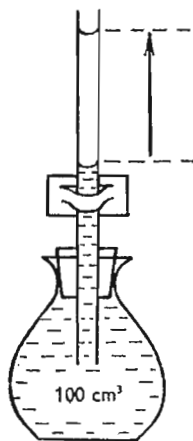
Vegyük el a gyufalángot az üveglemez alól. Pillanatok alatt lehűl, megszakad az érintkezés. Egyetlen gyufaszál égése alatt többször kimutathatjuk az üveg görbülését, kiegyenesedését.

A görbülés azt bizonyítja, hogy az üveg részecskéi az üveg melegített oldalán távolabb kerültek egymástól, mint a másik oldalon. Egyik oldalán jobban tágult az üveg, mint a másikon, mert az üveg rossz hővezetése miatt a másik oldala még nem melegedett át. De hogy részecskéi mégis távolabb kerülhessenek — követhesse a melegített oldal tágulását —, kénytelen megrepedni.

A folyadékok kitágulása

A folyadékok sokkal nagyobb mértékben tágulnak ki, mint a szilárd testek. A petróleum mintegy 5-ször jobban tágul, mint a víz, azért kísérletünkben petróleumot használunk.

Kísérlet. Kb. 100 cm^3 -es lombikot töltsünk meg petróleummal. A lombikot zárjuk el olyan dugóval (gumi, parafa), amelyen keresztül vékony nyílású (2-3 mm) cső nyúlik a lombikba (138. ábra). Ne maradjon levegő a petróleum és a dugó között. Fogjuk a lombikot kezünkbe, és melegítjük tenyerünkkel. Már 1-2 perc múlva jól észrevehetően felemelkedik a petróleum a csőben. Hogy a folyadékszál állásának változását jól megfigyelhessük, húzzunk az ábra szerint papírjelet a csőre.



Még nagyobb mértékű lesz a folyadékszál emelkedése, ha a lombikot meleg vízbe helyezzük.

138. Ha melegítjük az üvegben levő folyadékot, kitágul, és a csőben levő folyadékszlop felemelkedik

Ha egy másik, hasonlóan elkészített lombikot vízzel töltünk meg, és a petróleumos meg a vizes lombikot is ugyanabba a melegvízes edénybe tesszük, jól megfigyelhető, hogy a petróleumszál emelkedése többszöröse a víz emelkedésének. — Az alkohol még nagyobb mértékben tágul, mint a petróleum. A higany tágulása kb. akkora, mint a 18 °C-os víz tágulása (a víz tágulása nagyon változó, aszerint, hogy hány fokos vízről van szó).

A folyadékos hőmérők edényében higany, petróleum vagy alkohol van. — A higanyal töltött hőmérő csak -39 °C -ig használható, mert a higany megfagy. Az alkohollal töltött hőmérő -100 °C -ig használható, a petroléterrel töltött pedig -180 °C -ig.

A levegő hőkifágulása

Kísérlet. Üvegcsővel ellátott lombikunk csövének végét merítsük víz alá (139. ábra). — A tenyerünkbe fogott lombikban melegező és kitégülő levegő buborékokban száll fel a cső végéről.

Miután kezünk melegével bizonyos mennyiségű levegőt kiűztünk a lombikból, hagyjuk abba a melegítést. A levegő lehűl, összehúzódik a lombikban, és a víz felemelkedik a csőben. — Ha most nyúlunk a lombikhoz, a folyadékszál mozgása kis hőmérséklet-változást is érzékenyen jelez.



Ha a lombikba levegő helyett más gázt zárnánk (például világítógázt, szén-dioxidot, hidrogént), azt vennénk észre, hogy ugyanakkora felmelegedés hatására ugyanakkora lenne a kiterjedésük. — **Tehát a légnemű anyagok hő okozta kitégülése független az anyagi minőségüktől, minden gázra nézve ugyanakkora** — ellentétben a szilárd és cseppfolyós anyagokkal.

139. Ha tenyerünkkel melegítjük a lombikot, kitégül a benne levő levegő, és a cső végéről buborékok szállnak fel

Kísérletünk egyúttal azt is mutatja, hogy a **légnemű testek kitéágulása elég nagy mértékű.** — Mekkora? — Könnyű lenne eszközünkkel mérő kísérleteket is végezni. Egy hőmérővel megmérnénk, hogy hány fokkal melegítettük fel a levegőt a lombikban (például meleg vízbe helyezve) — a csőben levő folyadékoszlop eltolódásából pedig a térfogat változását állapíthatnánk meg. Ez lenne az eredmény:

ha bármely gáz hőmérsékletét 1 °C-kal emeljük, akkor térfogata a 0 °C-on elfoglalt térfogatának 273-ad részével növekszik. Ebből következik, hogy bármely gáz térfogata 273 °C-on éppen kétszer akkora lesz, mint 0 °C-on.

Fontos megjegyzés: a levegővel végzett kísérletünkben a dugónak és a csőnek légmentesen kell zárnia, azért a dugóra csepegtetett pecsétviasszal vagy parafinnal gondoskodunk a légmentes zárásról.

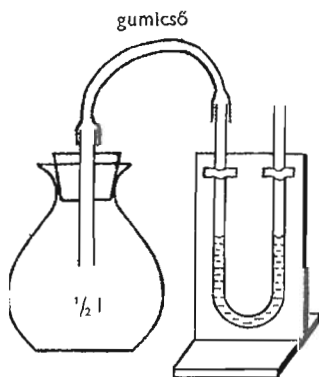
Igen érzékeny hőmérséklet-mutató

Előző eszközünk felhasználásával nagyon érzékeny hőmérőt készíthetünk.

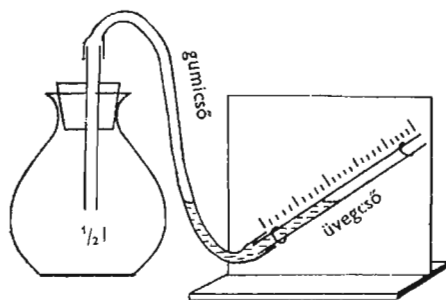
Hogy a levegő térfogatváltozása nagyobb legyen, félliteres lombikot használjunk. Az eszköz egyik elkészítési módját a 140. ábrán láthatjuk. Ehhez U alakú üvegcső szükséges. Még gyertyalánggal melegítve is könnyen hajlíthatunk U alakúra 30-50 cm hosszú üvegcsövet. A csőbe

kékítővel festett vizet öntünk, és gumicsővel kapcsoljuk a lombikhoz. (Víz ne színezzünk tintával, mert megfogja a csövet.) Az üvegcső mögé keménypapírra festett skálát tehetünk.

Még egyszerűbb és érzékenyebb összeállítást mutat a 141. ábra. Az üvegcső kb. 30 cm hosszú legyen.



140. Érzékeny és gyors hőmérsékletjelző. A lombikban levő levegő kitéágulását vagy összehúzódását az U-csőben levő vízoszlopok felszínkülönbségének változása mutatja



141. Az előző ábrán látható hőmérsékletjelző (egyúttal térfogat- és nyomásjelző) még egyszerűbb formája. Így érzékenyebb is

Néhány kísérlet, amit ezzel a léghőmérővel végezhetünk:

1. Ha az asztalról a padlóra vagy a szekrény tetejére tesszük, néhány perc múlva felveszi a környezet hőmérsékletét, és jól láthatóan mutatja a hőmérséklet-különbséget.

2. Ha néhány csepp alkoholt vagy benzint ejtünk a gömbjére, a folyadékszál rohamosan süllyed, mert az elpárolgó folyadék lehűtötte a gömböt és a benne levő levegőt.

3. Általában azt hiszik, hogy a „fűjt” levegő (fűjtatóból vagy szánkából) hidegebb, mint a környező levegő, mert ha kezünkre fújunk, hűvösséget érzünk. — Fújjunk vagy fűjtassuk a levegőt léghőmérőnk gömbjére — a folyadékoszlop semmi esetre sem süllyed (nincs lehűlés), sőt esetleg emelkedik, ami a gömb felmelegedését mutatja.

A hő terjedése

Ki bírja tovább?

Kísérlet. Valaki kezébe vesz egy alumínium egyforintost, egy másik személy pedig meggyújt egy gyufát. A forintost úgy kell tartani, hogy — ha kicsit is, de — hozzáérjen a lánghoz (142. ábra). Aki később dobja el a kezében tartott tárgyat, az győz.

Még ha rövid szálú gyufát használunk is, rendszerint a forintot kell előbb eldobni, mert az alumínium jó hővezető.

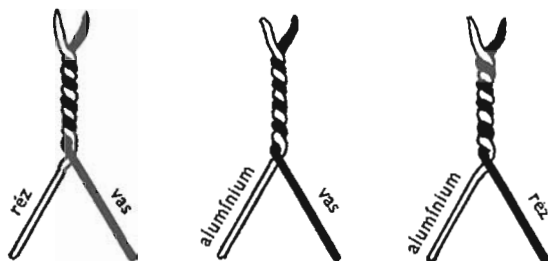


142. Ki dobja el előbb? — Az alumínium jó hővezető

Egyszerű kísérletek a hővezetésre

Gyűjtsünk különböző anyagú (réz, vas, alumínium) drótokat. Rövid, 10-15 cm hosszú darabok is elegendők a következő kísérlethez, amely meglepő különbségeket mutat a fémek hővezető képességében.

Kísérlet. Lehetőleg egyenlő vastagságú drótokat sodorjunk össze egyik végükön a 143. ábrán látható alakúra. A különálló drótvégeket jobb és bal kezünkkel megfogjuk egyenlő távolságban az összetekert résztől, és az összetekert véget gyertyalángba tartva melegítjük.



143. A két különböző anyagú drótszál összetekert végét gyertyalángba tartjuk. A különálló sodronyvégeket jobb és bal kezünkkel a sodrott résztől egyenlő távolságban megfogjuk. — Feltűnően érezzük a hőt jobban vezető sodrony nagyobb hőmérsékletét

Figyeljük meg, hogy melyik kezünkkel érezzük meg előbb és érezzük meg jobban a drót felmelegedését. Ha nem elég erős a felmelegedés, akkor fogjuk meg a drótokat az összetekérés helyéhez közelebb.

Kísérletünkben azt látjuk, hogy legjobban vezet a vörösréz, azután az alumínium, majd pedig a vas.

Az összes fémeket tekintetbe véve, a legjobb hővezető az ezüst.

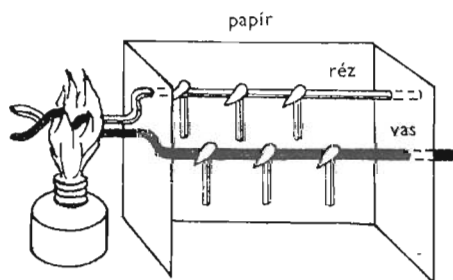
Táblázatunkban néhány anyag hővezető képességét az ezüst hővezető képességének százalékában fejeztük ki.

Ezüst	100%	Homok	3%
Réz	94%	Porcelán	1%
Alumínium	58%	Papír	0,5%
Vas	13%	Gyapjúsövet	0,1%

Látjuk a különböző hővezető képességet

Percek alatt összeállíthatunk olyan eszközt, amelynek segítségével láthatóvá, sőt hallhatóvá tehetjük azt, hogy a különböző fémek nem egyformán vezetik a hőt.

Csavarjunk össze egyik végén két egyenlő vastagságú drótot. Az egyik legyen például rézdrót vagy alumínium drót, a másik pedig vasdrót. Vastagabb papírlapból pillanatok alatt elkészíthető számára az állvány a 144. ábra szerint (a papírt az átdugott drót tartja össze).



144. A rézdrótról egymás után olvadnak le a paraffinkampóval ráakasztott szegek (vagy gyufaszálak): a réz jobban vezeti a hőt, mint a vas

Szegekre vagy drótdarabkákra készítsünk kampókat gyertyaolvadékból. A kampós szegeket egyenlő közökben akasszuk rá a drótokra.

Kísérlet. Gyertya- vagy spirituszlággal melegítsük a drótok össztekert végét. A láng melege tovaterjed, megolvasztja a paraffinkampót, és hallható koppanással leesik a szeg.

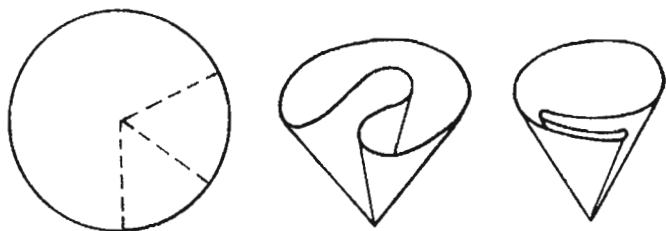
Azt vesszük észre, hogy mialatt a rézdrótról 3-4 szeg is leesik egymás után, a vasdrótról egy sem, vagy legfeljebb egy. Ez meggyőzően mutatja azt, hogy a réz sokkal jobban vezeti a meleget, mint a vas.

Vízforralás papírtasakban

Egy papírlapot hajtsunk tölcsér alakúra, de úgy, hogy a tölcsér csúcsát a papírlap közepe alkossa (különben kifolyik belőle a víz *145. ábra*). Töltsünk a tölcsérbe vizet, aztán tartsuk gyertyaláng fölé, közben ide-oda mozgassuk tölcsérünket. Vigyázzunk, hogy a papírnak azt a részét érje a láng, ahol a papír érintkezik a vízzel.

Ily módon a vizet felforralhatjuk anélkül, hogy a papír elégne, mert a víz elvezeti a papír melegét.

A gyertyaláng helyett alkalmasabb a nem kormozó spirituszláng.



145. Így hajlítsunk papírtölcsért, ha vizet akarunk benne forralni

Amikor nem gyullad meg a selyempapír

Kísérlet. 1. Ha egyrétegű selyempapírhoz (egyéb vékony papírhoz) alulról láng ér, a papír azonnal lobot vet. — De tegyünk a selyempapírra (egyéb vékony papírra) egy alumínium egyforintost, a pénzdarab felett pedig csavarjuk össze a papirozt. Ügyeljünk arra, hogy alulról jól simuljon a papír a forintoshoz.

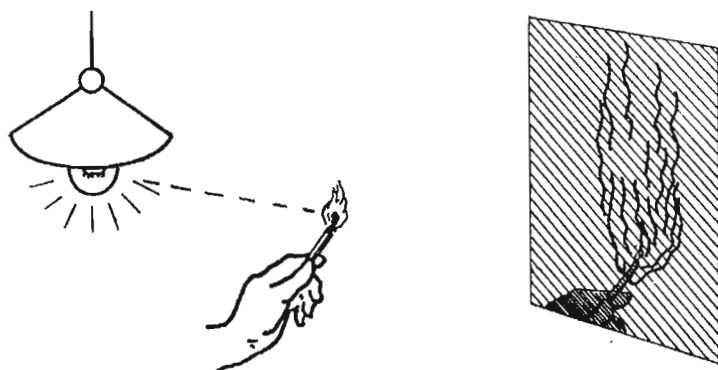
A gyufa lángjának hegye most másodpercekig érheti a papirozt a forintos közepe táján anélkül, hogy a papír meggyulladna.

2. Hasonló meglepő kísérletet lehet végezni az üres cigarettahüvellyel is. Ha a cigarettahüvelyt fémrudacsákára húzzuk (jól érintkezzék vele), akkor a vékony cigarettapapír nem gyullad meg, ha gyufalángot tartunk alája.

A meleg levegő felfelé áramlik

Talán már megfigyeltük a következő jelenséget: ha az ablakon besütő napsugár a forró tűzhely vagy a kályha árnyékát vetíti a falra, akkor az árnyképen hullámzó vonalak látszanak felszállani a tűzhely vagy a kályha meleg lapjáról — ezek a felszálló meleg levegő „árnyékvonalai”.

Az égő gyufa (vagy gyertya) lángja körül magasba áramló levegő árnyékvonalait minden előkészület nélkül azonnal bemutathatjuk.



146. Az égő gyufaszáltól megmelegedett levegő árnyékvonalait a falra vetíthetjük

Kísérlet — nappal. Ha a Nap a kora délelőtti vagy késő délutáni órákban úgy süt be a szobába, hogy valahol fehér falrészt világít meg, tartsunk a sugarak útjába égő gyufát vagy égő gyertyát.

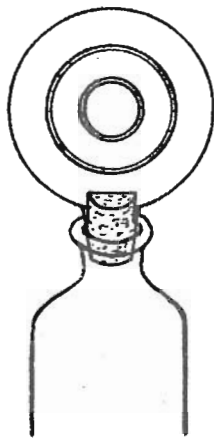
Kísérlet — este. Igen szépen a falra vetíthetjük az áramló levegő árnyékvonalait egyenes szálú izzólámpával (146. ábra). A vetítés

olyan irányban történjék, ahonnan a lámpa izzószálának hosszában látunk (az izzószál egy fénylő pontnak látszik. — Tartsuk az égő gyufaszálat úgy, hogy árnyéka a falra vetődjék — megjelennek az árnyékvonalak. (Ugyanezt alkalmasan tartott asztali villanylámpával is elvégezhetjük.)

Két egyszerű kísérlet a hősugárzásra

1. Kísérlet: a sötét, kormos felület jobban sugároz, mint a fényes felület.

A konzervdobozok felnyitásakor kivágott fényes tetőlap vagy bármely fényes fémlap alkalmas erre a célra. — Egy üveg dugójába vágjunk hasítékot, és dugjuk bele a fémlamezt, így kényelmes tartónk van (147. ábra).



147. Az egyik oldalán bekormozott fémlap (konzervdoboz teteje) tartására igen alkalmas a behasított parafadugó

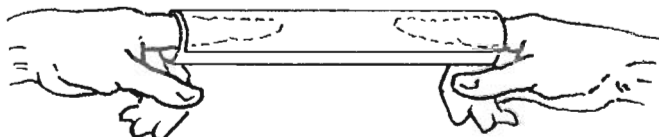
A fémlamez egyik felületét gyertyalánggal kormozzuk be, a másik felülete maradjon fényes. — Melegítsük fel a lemezt a kormozott oldalához tartott gyertyalánggal.

Tartsuk közel arcunkhoz a fényes felületet, azután a kormozottat. Feltűnő különbséget érzünk: a kormozott felület sokkal jobban mele-

gíti arcunkat, mint a fényes, pedig a fémlap hőmérséklete mindkét oldalon ugyanakkora.

2. Kísérlet: a hősugarak is visszaverődnek.

Hajlítsunk össze henger alakúra egy darab sztaniollapot vagy papírlapot, és dugjuk a hengerbe ujjunkat, de ne érjünk hozzá a sztaniolhoz vagy papiroshoz. Feltűnő meleget érzünk, mintha fűtenének a henger belsejében (148. ábra).

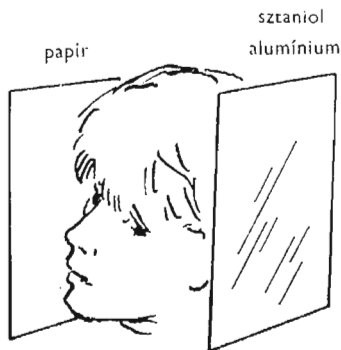


148. Ha összetekert sztaniolból vagy papírból készült hengerbe dugjuk bele ujjunkat, feltűnő meleget érzünk

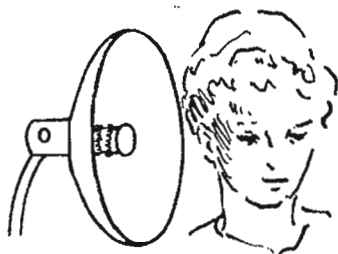
Hasonlóképpen meleget érzünk akkor is, ha üres konzervdobozba, alumínium ivópohárba, üvegpohárba stb. dugjuk bele az ujjunkat. Az ujjunkról kisugárzó meleg verődik vissza az edény faláról és okozza a meleg érzést.

3. Kísérlet: arcunk mint érzékeny hősugárzásjelző. Tartsunk arcunk közelébe ezüstpapír lapot (alumínium fóliát), a másik oldalról pedig fehér papírlapot (149. ábra). Mindkettő visszaveri az arcunkból ki-

induló hősugarakat, és a visszavert hősugarak arcunkra érnek, melegítik azt. Az alumínium fólia alatt szinte „süti” arcunkat a meleg, a fehér papírlap alatt jóval csekélyebb felmelegedést érzünk.



149. Arcunk mint érzékeny hősugárjelző



150. Tartsuk a hideg hőszugárzó közelébe arcunkat. Feltűnő meleget érzünk. Ugyanis az arcunkból kiinduló hőszugarak visszaverődnek a hőszugárzó homorú fémtükörén, és újra arcunkra érkeznek

Az alumínium fólia felületéről az arcunkból kiinduló hőszugárzás gyakorlatilag **teljesen** (100%-osan) visszaverődik.

Végezzük el a kísérletet fekete és fehér papírlappal is.

4. **Kísérlet: ez valóban meglepő!** Tartsuk arcunkat a **hideg** hőszugárzó közelébe (150. ábra). Olyan meleget érzünk, hogy nem akarjuk elhinni, hogy csak az arcunkból kiinduló hőszugarak verődnek vissza a hőszugárzó görbült felületéről, és melegítik arcunkat.

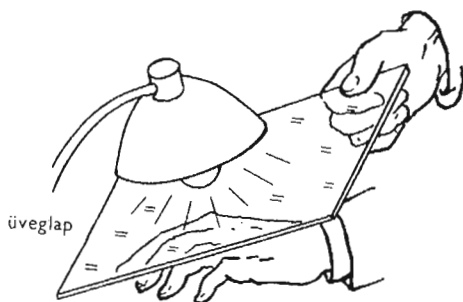
A kertészeti üvegházak és fóliasátrak titka kísérletekben

1. **Kísérlet: ezt se hittük volna: az üveg nem engedi át magán a láthatatlan hőszugárzást.** Ezt bámulatosan egyszerűen kimutathatjuk. Tartsuk **kezünk fejét** az asztali lámpa izzójának közelébe. Szinte forrora melegedik bőrünk. — Most dugjunk egy üveglemezt az izzókörte és kezünk feje közé (151. ábra). Hirtelen megszűnik a forróság érzése, sokkal kisebb meleget érzünk.

Magyarázat: az üveglemez a merőlegesen ráeső **látható** fényhullámokat majdnem teljes egészében (90%) áttereszti, ha a fény merőlegesen esik az üveglemezre. — De a lámpaizzóból a látható fénynél **hosszabb hullámú, láthatatlan hőszugarak is indulnak ki.** Ezekből majdnem semmi sem jut át az üveglemezen.

Ugyanerre az eredményre jutunk akkor is, ha üveglemez helyett átlátszó celofánpapírral végezzük a kísérletet.

A kertészeti üvegházak és fóliasátrak nappal áttereszti a fényt és



151. Az üveg nem engedi át a láthatatlan hősugarakat

a fénysugarakban terjedő hőenergiát is. Felmelegszik a talaj, a növény. De baj lenne, ha ez a felgyülemlett meleg a hideg, fagyos éjszakán eltávoznék az üvegházból. A talaj hosszú hőhullámokat bocsát ki, mint arcunk a test melegét, de az üveg, a műanyag fólia **nem** engedi át magán ezeket a hősugarakat. **Nem hűl ki az üvegház**, a fóliasátor belseje! — Szobánk is hasonlóan viselkedik. Az ablakon át bejövő napsugár, a fűtés, felmelegíti a falakat, a szoba tárgyait. De ebből a melegből szinte semmit sem enged az ablaküveg „kiszökni”, nem engedi át magán azokat a hullámokat, amelyeket az emberi test és a szoba tárgyai kisugároznak.

2. Kísérlet. Az előző kísérletben, amikor eléggé érezzük kezünk fején a meleget, amelyet az üvegen átmenő fényhullámok energiája okoz, ferdítsük el erősen az üveglemezt: majdnem megszűnik a hőérzés kezünk fején. Amikor ugyanis a fénysugár igen ferdén esik az üveglemezre, akkor majdnem minden fény visszaverődik (l. 222. oldalt), magával viszi azt az energiát is, amely előbb még átjutott az üveglemezen.

Hűtőkeverék

Kísérlet: sóval és 0 °C-os hóval – 18 °C hideget állítunk elő.

Ha télen havat, nyáron pedig porrá tört műjeget 1 : 1 súlyarányban sóval összekeverünk, a keverék hőmérséklete –18 °C-ig száll alá. A hőmérsékletet a keverékbe állított hőmérővel mérjük.

A levegő nedvessége

Mennyi nedvesség van a levegőben?

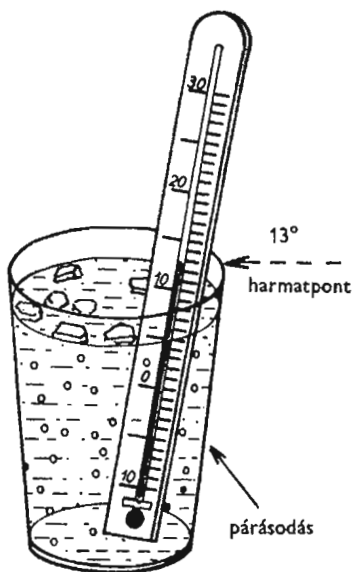
Alighanem lehetetlennek tartanák a következő feladatot: határozzuk meg házi eszközökkel azt, hogy hány gramm vízgőz van szobánk levegőjében (vagy kinn a szabadban 1 m^3 levegőben). Pedig lehetséges.

Olvassuk le a hőmérőn a szoba levegőjének hőmérsékletét. Legyen ez például $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kísérlet: megmérjük, hogy hány fokon keletkezik a harmat. — Egy fényes falú konzervdobozt (esetleg vizespoharat) megtöltünk vízzel. A vízbe hőmérőt állítunk. Kisebb darabokra tört jeget dobunk a vízbe. A vizet kissé keverjük a hőmérővel. A jég olvadása közben hűlni kezd a víz. Lehűl a pohár fala is (152. ábra).

Figyeljük az edény fényes külső oldalát, néha húzzunk végig oldalán ujjainkkal, hogy észrevegyük, amikor homályosodni, harmatosodni kezd az edény oldala. Ekkor leolvassuk a hőmérőt.

Azt a hőmérsékletet, amelyen a harmat jelentkezik, harmatpontnak nevezzük. Tegyük fel, hogy kísérletünkben $13 \text{ }^\circ\text{C}$ -on kezdett a konzervdoboz párásozni. Tehát a harmatpont $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Ez annyit jelent, hogy $13 \text{ }^\circ\text{C}$ -on a szobánkban ténylegesen jelenlevő vízpára a levegőt telítette tette.



152. A harmatpont mérése. A vizet a beleszórt jégdarabkákkal hűtjük

A fizikusok laboratóriumi mérésekkel meghatározták azt, hogy hány gramm vízgőz van a levegőben akkor, amikor telítve van. Ezt táblázatban összefoglalták.

A telített levegő vízgőztartalma (gr/m³)

°C	gr/m ³	°C	gr/m ³	°C	gr/m ³
+1	5,2	11	10	21	18,4
3	6	13	11,4	23	20,6
5	6,8	15	12,9	25	23,1
7	7,8	17	14,5	27	25,8
9	8,8	19	16,3	29	28,7

Kísérletünkben azt találtuk, hogy a szobában annyi vízgőz van, amennyi 13 °C-on tenné telítetté a levegőt. Nézzük meg a táblázatban, hogy 13 °C-hoz hány gramm tartozik. Azt látjuk, hogy 11,4 gr.

Tehát szobánk minden köbméterében 11,4 gr vízgőz van ténylegesen jelen. — Ha szobánk 3 m magas és 4 m×5 m alapterületű, akkor térfogata 60 m³. Mérésünkkor tehát a szoba levegőjében összesen 60×11,4 gr = 684 gr víz van, majdnem háromnegyed liter víz. Aligha gondoltuk volna.

Ez az adat önmagában érdekes ugyan, de nem is sejtjük, hogy a szoba levegője ezek után száraznak vagy nedvesnek mondható-e?

Száraz a levegő akkor, ha víztartalma kevés ahhoz képest, amennyi vizet azon a hőmérsékleten tartalmazhatna (amennyi víz a levegőt telítetté tenné).

Szobánk levegőjének hőmérsékletét még azelőtt megmértük, mielőtt a hőmérőt a jeges vízbe dugtuk volna. A szoba hőmérséklete 21 °C. A táblázat szerint

21 °C-on a levegő tartalmazhatna 18,4 gr-ot,
ténylegesen jelen van (a harmatpont szerint)
11,4 gr (az abszolút nedvesség).

A jelenlevő 11,4 gr a (21 °C-on) telítéshez szükséges 18,4 gr-nak
 $11,4 : 18,4 = 0,61$ része = 61%-a.

A szoba levegőjének viszonylagos (relatív) nedvessége hazánkban
júliusban 60%-70%, januárban 85%-90%. A 61% relatív nedvességű
levegő tehát száraznak mondható.

A levegő nedvességének a harmatpont mérésén alapuló módszere
hosszadalmas. Az időt azonnal megmutatja az óra, és nem kell mindig
külön meghatározni a Nap vagy a csillagok állásából. Hasonlóképpen
készíthetünk egyszerű eszközöket, amelyek azonnal mutatják a levegő
viszonylagos nedvességét. Lássunk néhányat.

A szalmaszálas nedvességmérő

Ez talán a legegyszerűbben elkészíthető. Szalmaszálat vágjunk
hosszában ketté. Az egyik félből vágjunk le kb. 1 mm széles és 8-10 cm
hosszú csíkot. Egy deszkalapra ragasszunk parafadugót. A dugót
messük be, és a bemetszésbe dugjuk be a szalmaszálat. A szalmacsík

egyik oldala fényes, a másik oldala pedig a nedv-
szívó tulajdonságú belső rész. A levegő nedves-
ségének megfelelően többé-kevésbé elhajlik a
szalmacsík szabad vége (153. ábra).

Így készítjük a beosztását (a következő ned-
vességmérőkét is): egy alkalommal a harmatpont
módszerrel mérünk levegőnedvességet, és az
ugyanott levő eszközünk mutatójának állásához
a mért értéket írjuk.

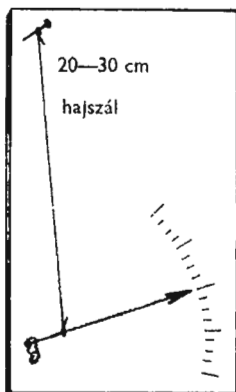


153. A szalmaszálas nedvességmérő

Ismernünk kell a beosztás még egy másik pontját is. Ezt pedig úgy találjuk meg, hogy az eszközt egy nagyobb fazékkal vagy mosdótállal leborítjuk. Az edény alá még egy nagyobb vizes rongyot is teszünk, hogy az elpárolgó víz az edény alatt telítetté tegye a levegőt. Egy negyedóra múlva felemeljük az edényt és a mutató végéhez a beosztásra 100%-ot írunk.

Az így meghatározott két biztos érték közötti távolságot egyenletesen osztjuk be.

A hajszálas nedvességmérő



Benzinben vagy spirituszban kiáztatunk egy 20-30 cm hosszú hajszálat — ezáltal elveszti zsírtartalmát. A zsírtalanított hajszál magába szívja a nedvességet, megnyúlik — szárazabb levegőben pedig összehúzódik. Hosszúságváltozását a 154. ábra szerinti mutatóval tesszük láthatóvá.

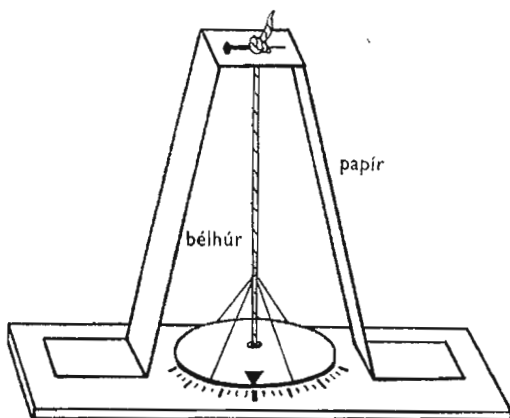
A mutató igen könnyű legyen, vékony drótból készüljön. A végére ragasztott selyempapír-darabkával jól láthatóvá tehetjük helyzetét.

154. A hajszálas nedvességmérő

A bélhúros nedvességmérő

Kartonpapír és 15-20 cm hosszú, bélből készült hegedűhúr („a” vagy „d”) szükséges elkészítéséhez.

A hűrt benzinben vagy alkoholban kiáztatjuk, hogy elvesztse zsírtartalmát. Azután vízben kiöblítjük, majd vízszintesen kifeszítjük (a két végét súlyos tárggyal leszorítjuk), hogy megszáradjon és egyenes legyen.



155. A bélhúros nedvességmérő. A húr elcsavarodása változik a levegő nedvességével. Az elcsavarodás nagyságát a húrra erősített papírkorong elfordulása mutatja

Keménypapírból a 155. ábra szerint tartót készítünk — az alap is papírból lehet. A húr egyik végére csomót kötünk, és áthúzzuk az állvány felső lyukján. — A húr alsó végét pedig kb. 8 cm átmérőjű keménypapír körlapon húzzuk át, és a húrnak erre a végére is csomót kötünk. Mindkét csomó mellett egy tűt szúrunk át a húron és a tűt ragasztópapírral leragasztjuk. Így biztosítjuk azt, hogy a húr ne mozduljon el.

A húr a nedvesebb levegőben kisodródik, a szárazabbban összecavarodik — a korong elfordul.

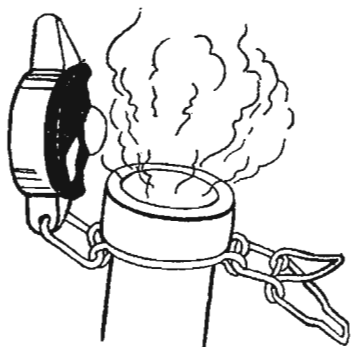
A korong helyzetét vízpárával telített levegőben a korongra tett jellel és az alapon vele szemközt húzott jellel megjelöljük. Az alapra a jelhez 100%-ot írunk.

Ködöt keltünk — ásványvizes palackban

1. Kísérlet: köd a tele ásványvizes palackból (156. ábra).

Ha a tele ásványvizes palackot hirtelen kinyitjuk, pukkanás közben köd gomolyog elő a palack szájából. — A nézők természetesnek veszik azt, hogy „füstöl” a palack, és azt mondják, hogy a „szénsavgáz száll ki a palackból”.

Pedig nem így van!



156. Ha a tele levő szénsavas vízpalackot hirtelen kinyitjuk, köd gomolyog elő az üveg szájából

A zárt palackban a víz felszíne feletti kis térben vízpárával telített a levegő. Ebben a térben a nyomás is nagy a vízből kiszabadult szén-savgáz feszítőereje miatt.

Amikor kinyitjuk a palackot, a nagy nyomás alatt álló levegő meg szénsavgáz keverék hirtelen kitágul. **A kitágulás pedig lehűléssel jár (ellenkezője: az összenyomás felmelegedést okoz).**

A dugó alól kiszabaduló, vízpárával telített levegő tehát hirtelen lehűl. A hidegebb levegőt már kevesebb víz is telítetté teszi. A felesleges vízgőz látható pára (köd) alakjában kicsapódik. Ezért „füstöl” a palack szája.

2. Kísérlet: köd a félig telt, átlátszó szénsavasüvegben.

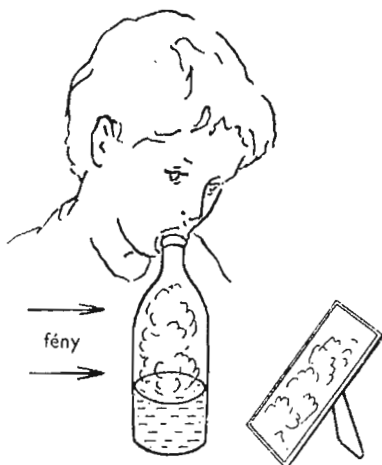
Még feltűnőbben is jelentkezhet a kitágulással és lehűléssel járó ködképződés. Átlátszó, színtelen, úgynevezett „fehér” üvegből készült palackra van szükség. A palackból hiányozzék a víztartalom harmadrésze-fele, de a maradék még legyen szénsavban gazdag. Rázzuk meg a zárt palackot, azután nyissuk ki hirtelen. A palack belsejében dús fehér ködöt látunk (esetleg csak pillanatnyi elhomályosodást).

Ködöt keltünk — közönséges palackban

Kísérlet. Egy átlátszó, színtelen üvegű literes üvegbe öntsünk néhány ujjnyi vizet, és rázzuk szét a palackban, hogy az üveg oldalt is megnedvesedjék, és vízpárával telített levegő legyen a palackban.

Szívjuk meg most hirtelen és erősen a palackot, de úgy, hogy utána ne eresszük vissza a levegőt. Az üveg belseje elhomályosodik, köd képződik benne. Ugyanis hirtelen kitérüléskor lehűl a palackban a levegő — nem tud annyi vízpárát magában tartani, mint amennyi az eredeti hőmérsékleten volt benne — a pára egy része kicsapódik. Ha visszaengedjük a levegőt, eltűnik a köd.

Ha felülről szívunk, természetesen nem láthatunk oldalról át az üvegen, nem figyelhetjük meg jól a ködképződést. — Ezen könnyű segítenünk: az üveg mögé egy síktükört teszünk úgy, hogy lássuk benne az üveget (157. ábra).



157. Így keltünk ködöt a literes üvegben hirtelen szívással. Az üveg mellé állított tükörben jól láthatjuk a ködöt

Gomolygó köd a palackban — köd a nagyvárosok felett

Meglepően sűrű, tejfehér és gomolygó ködöt kelthetünk literes üvegünkben a következőképpen:

1. Kísélet: lecsapódási magvakat juttatunk az üvegbe. Gyújtsunk meg egy szál gyufát, és amikor már jól ég, dobjuk bele a literes üvegbe, amelynek fenekén víz van. Ezáltal egy kevés füstöt, koromszemcséket juttatunk az üvegbe. Várjunk, amíg a füst teljesen eltűnik az üvegben,

azután szívjuk meg erőteljesen. Gomolygó köd keletkezik. (Elegendő az is, ha az üvegbe az elégett, de még parázsló gyufaszálat dobjunk.)

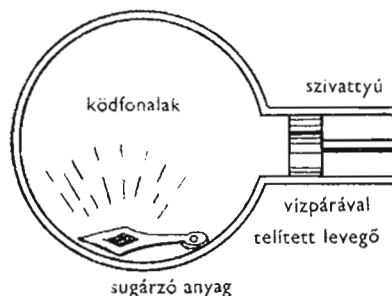
A páraszemcskék a különben láthatatlan füstszemcskékre rakódnak le. Ha ilyen lecsapódási magvak vannak a levegőben, akkor dúsabb a ködképződés. Ezért ködös a nagyvárosok, az ipartelepek vidékének levegője. Sőt, a keletkező sűrű köd szinte éjszakai sötétséget is okozhat fényes nappal, amire már többször volt példa Budapesten.

2. Kísérlet: a lecsapódási magvak hosszú ideig megmaradnak a levegőben még többszörös ködképződés után is.

Tegyünk egymás mellé két palackot. Dobjunk az egyikbe égő gyufát vagy parazsat, a másikba nem. Megpróbálhatjuk kifúvással vagy szívással eltávolítani a lecsapódási (kondenzációs) magvakat a palackból, nem sikerül. Még órák múlva is sokkal erősebb az egyik palackban a ködképződés, mint a másikban. Pedig akkor már igazán elenyészően kevés füstszemecske lehet a palackban. Orrunk szaglással alig veszi észre már a füst szagát, de ha erős szívás után egyet nyelünk, nyelvünk tövén érezzük a keserű füstízét, a ködképződés pedig még mindig erősen kimutatja.

Ez a példa némi fogalmat nyújt arra nézve is, hogy érzékszerveinkkel, jelenségekkel (például ködképződés) milyen elenyészően csekély anyagmennyiség jelenlétét is észre lehet venni.

Az atomfizikában igen nagy jelentősége van a ködképződésnek. **Ennek segítségével egyetlen elektron vagy egyetlen atommagrészcseke nyoma is láthatóvá tehető.** Ugyanis ezek a sebesen repülő részecskék



158. A ködkamra üveglappal fedett, zárt edény. Tegyünk bele egy világító óramutatót (festékje radioaktív legyen). Húzzuk meg hirtelen a szivattyú dugattyúját. A kitáguló és lehűlő levegő páratelt lesz, és a láthatatlan atomrészcsekké pályája mentén ködfonalak jelennek meg

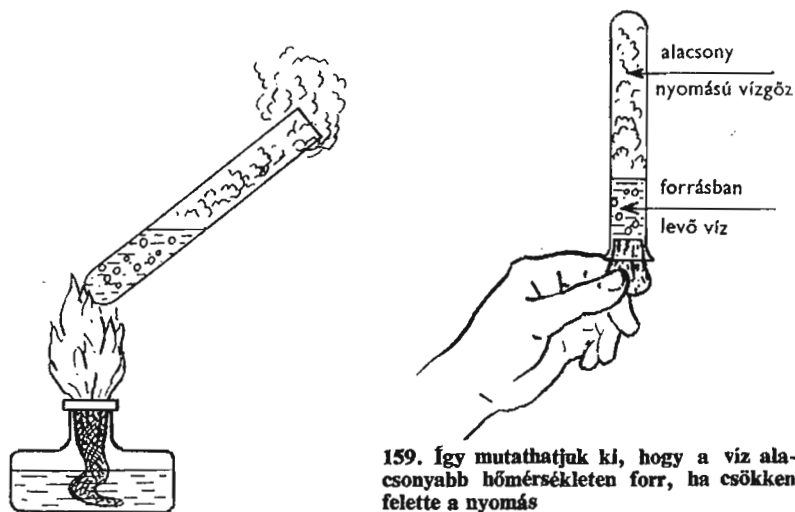
pályájuk mentén a vízpárák kicsapódására alkalmassá teszik a levegő (vagy más gáz) atomjait, molekuláit. Egy részecske pályája mentén több százezer ködsemecske is keletkezhet, ami ködfonal alakjában láthatóvá lesz az úgynevezett **ködkamrában** (158. ábra). Ez nem egyéb, mint telített vízpárát tartalmazó edény. Ha az edényben levő levegőt (gázt) hirtelen kitágítjuk, lehűlés és ködképződés következik be.

Percekig forraljuk a vizet láng nélkül

A víz közönségesen $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on forr. A magasabb hegyeken kisebb a légnyomás, ezért a víz már több fokkal alacsonyabb hőmérsékleten is forrásba jöhet (ennek következménye az, hogy ott nagyon soká kell főzni a hüvelyeseket [például a babot] vagy esetleg egyáltalán nem főnek meg).

Azt a jelenséget, hogy a víz kisebb nyomáson alacsonyabb hőmérsékleten forr, igen egyszerű és meglepő kísérlettel mutathatjuk ki.

Kísérlet. Egy próbacsövet $1/3$ részig töltjük meg vízzel. Forraljuk fel a vizet nem kormozó láng (gázláng, spirituszláng) felett, hogy a cső átlátszó maradjon. A cső természetesen legyen nyitva. A forrás tartson



159. Így mutathatjuk ki, hogy a víz alacsonyabb hőmérsékleten forr, ha csökken felette a nyomás

legalább egy percig, hogy a fejlődő vízgőzök jól kifűzhessék a csőből a levegőt. Azután vegyük el a csövet a lángról, és hirtelen dugaszoljuk be jól záró dugóval (159. ábra).

Fogjuk meg a csövet dugójánál fogva, állítsuk függőlegesen, és várjunk. Csodálkozva látjuk, hogy a víz újra forrni kezd, főleg ha ráfúvással hűtjük a csövet. A víz percekig forrásban marad. Végre annyira kihűl a cső, hogy a felső, vizet nem tartalmazó részét, kézzel is megfoghatjuk. — Ekkor hidegebb tenyerünk még gyorsabban hűti a csövet, és még erőteljesebben forr a víz.

A jelenség magyarázata. Abban a pillanatban, amikor felfelé fordítottuk a csövet, a víz feletti gőz hőmérséklete $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt, a nyomása pedig 1 atm (760 Hgmm). Ettől a pillanattól kezdve egyre jobban lehűl a cső és vele együtt a gőz a víz felett. De a gőz nyomása a hőmérséklettel együtt csökken. Például akkor, amikor a gőz $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hűl le, nyomása kb. csak $0,5\text{ atm}$ (pontosan 355 Hgmm).

Az egyre kisebb nyomás alá kerülő víz pedig kihűlése közben egyre alacsonyabb hőmérsékleten forr.

Hatásfokot mérünk

Milyen hatásfokú a spirituszfőzőnk ?

A tűzhelyben eltűzelt tüzelőanyag melegének egy része, anélkül hogy hasznát vennénk, kárba vész, nem a tűzhelyen levő edény tartalmát melegíti, hanem a környezetet, a levegőt.

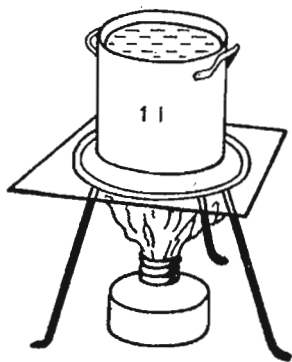
Érdekes kérdés az, hogy a felhasznált tüzelőszer melegének (hőenergiájának) hány százaléka megy bele a fazékba, és hány százaléka távozik felhasználatlanul, és jelent kidobott pénzt a számunkra. — A tüzelőszer melegének minél több százaléka vándorol a főzőedénybe, annál gazdaságosabb a tűzhelyünk.

Hogy kísérletet végezhessünk a gazdaságosság százalékszámának megállapítására, mérni kell tudni a tűzhelyen felhasznált melegmennyiséget és az edényben felfogott hőmennyiséget.

Mindkettő könnyen megállapítható a spirituszfőző és az elektromos főzőlap esetén, mert ha megmérjük az elégett spirituszt vagy az elfogyasztott elektromosenergia-mennyiséget, akkor tudjuk, hogy **mennyi melegmennyiséget használtunk fel a tűzhelyen.** Az edényben levő víz mennyiségéből és felmelegedéséből pedig meghatározhatjuk, hogy **mennyi melegmennyiséget kaptunk vissza.**

Kísérlet. Drogériában olcsón kapható köbcentiméteres beosztással ellátott (250 cm³-es) cuclisüveg. Ennek segítségével mérjük egy edénybe 1 liter vizet, mérjük meg hőmérsékletét hőmérővel. — Legyen például 15 °C a víz hőmérséklete.

Mérjük le 10 cm³ spirituszt is. Öntsük a spirituszfőzőbe, és melegítsük fel vele (míg a spiritusz teljesen el nem ég) az 1 liter vizet (160. ábra). Miután elégett a spiritusz, mérjük meg újra a víz hőfokát, legyen az 40 °C. — A víz hőmérséklete 40 °C – 15 °C = 25 °C-kal emelkedett.



160. Égessünk el például 10 g spirituszt az 1 l vizet tartalmazó edény alatt, és mérjük meg, hogy hány fokkal melegszik fel a víz. — Könnyen kiszámíthatjuk, hogy a tüzelőszer égési hőjének hány százalékát használtuk fel

1 cm³ spiritusz annyi meleget fejleszt, hogy 1 liter víz hőfokát 5 °C-kal tudná emelni. Ezt laboratóriumi mérésekkel állapították meg (1 cm³ spiritusz égéshője 5 kcal).

Kísérletünkben 10 gr spirituszt égettünk el, tehát annyi meleg fejlődött, amennyi 1 liter víz hőmérsékletét 5 °C × 10 = 50 °C-kal tudta volna emelni (50 kcal égéshő fejlődött).

De mennyi meleg jutott a vízbe? — Ha 1 kg víz hőmérséklete

1 °C-kal emelkedik, akkor a víz 1 kcal hőt vett fel. Kísérletünk szerint a víz 25 °C-kal melegeedett, tehát 25 kcal-t vett fel.

Most már kiszámíthatjuk a hatásfokot:

A spiritusz elégésekor fejlődött 50 kcal,
a vízbe átment 25 kcal,

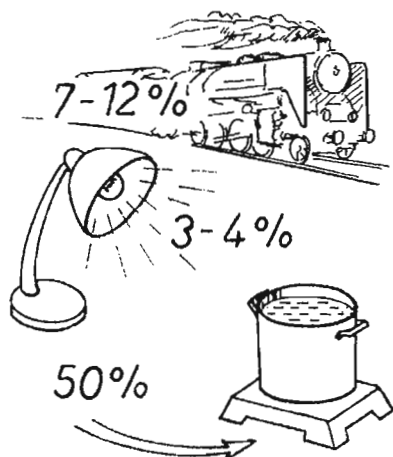
$$\text{hatásfok} = \frac{\text{a vízbe átment meleg}}{\text{összes meleg}}$$

$$\text{A spirituszfőző hatásfoka} = \frac{25}{50} = 0,5 = 50\%.$$

Megmérjük az elektromos főzőlap hatásfokát

A felhasznált „tüzelőszer” hőenergiáját akkor lehet legkönnyebben megmérni, ha elektromos árammal melegítünk. — Majdnem minden háztartásban van villanyrezső (elektromos főzőlap), gyakori a villanytűzhely is.

Hogyan mérjük a főzőlapban fejlődött meleget? — Az elektromos főzőlapon megtaláljuk a felírást, hogy hány wattos. — Legyen például



161. A különféle eszközök hatásfoka. — A gőzmozdony a benne eltiizelt szén melegének 7-12%-át alakítja át munkává. Az izzólámpa az elektromos áram energiájának csak 3-4%-át alakítja át fényvé. Az elektromos főzőlap a felhasznált elektromos energiának 50%-át adja át a lapot teljesen befedő alumínium edénynek

főzőlapunk 600 W-os. — Zsebóránkon leolvassuk, hogy hány percig tartottuk bekapcsolva a főzőlapot (161. ábra).

Jegyezzük meg, hogy az **1000 W-os (1 kW-os) főzőlap 1 óra alatt 860 kcal-t fejleszt.**

A vízbe átment melegmennyiséget pedig az előző fejezet alapján könnyen kiszámíthatjuk, ha ismerjük a víz mennyiségét (literben, kilogrammban), és hőmérővel megmérjük azt, hogy hány fokkal melegedett fel.

Kísérlet. Egy 600 W-os főzőlapra 1 liter 15 °C-os vizet tettünk fel alumínium edényben. — Az áramot 6 percig tartottuk bekapcsolva. A víz 39 °C-ra melegedett fel. — **Az áram által fejlesztett hőmennyiségnek hány százaléka ment át az edényben levő vízbe?**

a) Hány kalória fejlődött a főzőlapban?

1000 W	60 perc alatt	860	kcal-t fejleszt,
1000 W	6 perc alatt	86	kcal-t fejleszt,
100 W	6 perc alatt	8,6	kcal-t fejleszt,
600 W	6 perc alatt	51,6	kcal-t fejleszt.

Tehát főzőlapunkban 6 perc alatt 51,6 kcal hő fejlődött.

b) Hány kalóriát vett fel a víz?

1 liter víz hőmérséklete 39 °C–15 °C = 24 °C-kal emelkedett. — A felvett hőmennyiség 24 kcal.

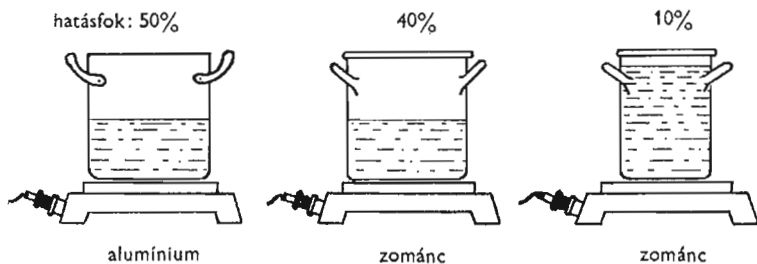
$$\text{c) A főzőlap hatásfoka} = \frac{\text{a felvett 24 kcal}}{\text{fejlődött 51,6 kcal}} = 0,465 = 46,5\%.$$

Ha tehát például 100 forintot fizetünk a főzésre felhasznált villanyfogyasztásért, akkor ebből 46,5 forint ára hőt tudunk célunkra a főzésre fordítani, 53,5 Ft-ot feleslegesen adunk ki.

A hatásfok és az edény anyaga

Kísérletezzünk különböző anyagú és falvastagságú edényekkel, és állapítsuk meg mindegyik esetben a hatásfokot (162. ábra).

Például, előző kísérletünket egy 3 mm falvastagságú erős alumí-



162. Leggazdaságosabban alumínium edényben főzhetünk. A zománcozott edény a főzőlap melegének csak 40%-át veszi át. Ha pedig olyan edényt használunk, amelynek átmérője a főzőlap átmérőjének csak a fele, akkor a hőenergia kihasználása csak 10%.

nium fazékkal végeztük. — Azután ugyanakkora alapterületű **zománcozott** bádoggfazekat helyeztünk a főzőlapra. Ennek falvastagsága csak 1 mm volt. Azt hihetnénk, hogy ez a vékony falú zománcozott fazék gyorsabban átveszi a főzőlap melegét, mint a vastag falú alumínium edény.

Az eredmény meglepő: míg az alumínium edényben 11 perc alatt forrt fel a víz, a zománcozott edényben 14 min alatt! (A víz mennyisége ugyanannyi.)

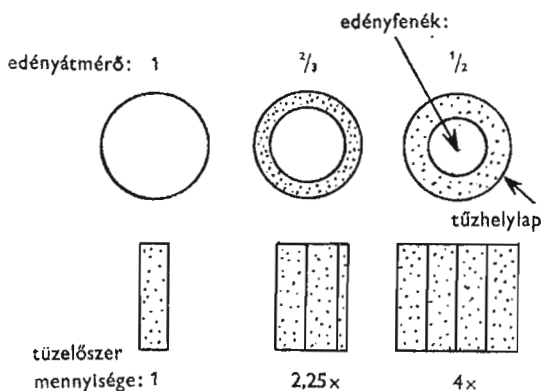
Mivel a zománcozott edény $14:11 = 1,27$ -szer többet fogyaszt, mint az alumínium edény, azért hatásfoka $1,27$ -szor kisebb, azaz $46,5\%:1,27 = 36,6\%$. Tehát

a zománcozott edény hatásfoka 36,6%.

A zománcos edény sokkal rosszabbul használja fel a tűzhely melegét, mint az alumínium edény. — Ha zománcozott főzőedényt használunk, alumínium edény helyett, akkor az előző mérés szerint mintegy 27%-kal növekszik az elektromosenergia-fogyasztás, 27%-kal többet kell fizetni.

A hatásfok és az edény alapterülete

Főzéskor nem mindegy, hogy mekkora alapterületű edényeket használunk — a főzőlap alapterületéhez képest (163. ábra).



163. Így függ a tüzelőszer-fogyasztás attól, hogy az edény fenekének átmérője hányadrésze a főzőlap átmérőjének. — Ha például 15 cm átmérőjű főzőlapra 10 cm átmérőjű edényt teszünk, akkor 2,25-ször többbe kerül a víz felforralása, mintha ugyanannyi vizet 15 cm átmérőjű edényben forralnánk fel

Előző kísérletünkben a főzőlap átmérője 14 cm volt. Az előbb említett edények átmérője pedig 13 cm.

Egy újabb kísérletben 11 cm átmérőjű zománcozott pohárban forraltunk fel vizet; 14 perc helyett 17 percre volt szükség. Ha a számítást elvégezzük:

11 cm alapátmérőjű zománcozott pohár esetén

a hatásfok 30,2%.

9 cm átmérőjű zománcozott pohár esetén (a 14 cm átmérőjű főzőlapon) pedig a víz felforralásához 28 percre volt szükség,

a hatásfok 18,3%.

Ezek az eredmények ijesztőek: ha 14 cm átmérőjű főzőlapunkon 13 cm átmérőjű alumínium edény (hatásfok 46,5%) helyett 9 cm átmérőjű, vékony falú, zománcozott edényben főzünk (hatásfok 18,3%), akkor kereken

**46,5 : 18,3 \approx 2,5-szer több fűtőanyagot kell
elhasználnunk (villanyszámlánk 2,5-szer több).**

**Lökődősődő molekulák — alumínium szemecskék
táncolnak a vízben**

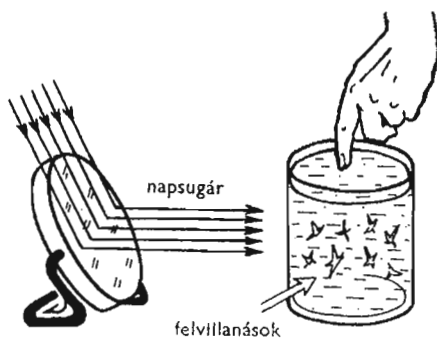
Tudjuk, hogy egy kavicsdarab, vasdarab, a víz, a levegő szabad szemmel nem látható, parányi részecskékből: molekulákból áll.

A molekulák pedig még kisebb részecskékből: atomokból vannak összetéve. A tudomány azt állítja, hogy ezek a legjobb mikroszkóppal sem látható molekulák, atomok **állandóan mozognak**.

Ha tiszta vízbe ejtünk egy csepp festékes vagy tintás vizet, rövid idő alatt maguktól széteszlanak a vízben. — Maguktól? Nem! A víz örökkön mozgó molekulái lökdösi szét a festékszemeckéket. A cigarettafüst pillanatok alatt szétterjed a szobában. — A levegőt alkotó gázok molekulái lökdösi szerteszt a füstszemeckéket a szoba legtávolabbi sarkába is.

Ha megkérdeznék tőlem, hogy **melyik a fizika legmeglepőbb, leglátványosabb és talán a legfontosabb kísérlete, azt felelném: az anyag örökös mozgását bizonyító kísérlet.**

1. Kísérlet. Csillagok villannak fel. Tegyük magunk elé egy pohár vizet az asztalra, és világítsuk meg oldalról erősen úgy, hogy tükörrel napfényt vetítünk a pohárra (164. ábra). Erre a célra nagyon alkalmas az állítható borotválkozótükör. Az ablakpárkányra vagy székre tesszük, és sík lapjával bármilyen irányba vetíthetjük a napfényt.



164. Az alumínium szemeckék mint apró tükrök villannak fel a fénysugárban

Szükségünk van még **ezüst színű** gombfestékre. Ez az ezüstoffesték tulajdonképpen finom alumínium porból áll, pontosabban mondva: parányi alumínium lemezekből, és ezek úgy viselkednek, mint parányi tükrök.

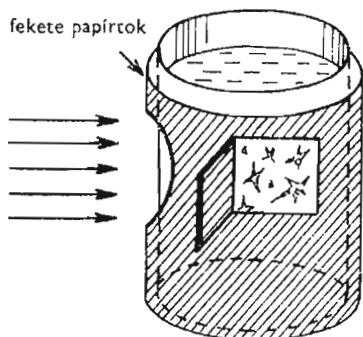
Nedvesítsük meg vízzel ujjunk hegyét. Dörzsöljük kissé az alu-

mínium festékekhez. Azután festékes ujjunk hegyét érintsük néhányszor a víz felületéhez.

Remek látványban lesz részünk. Az ujjunkról a vízbe jutott alumínium por tejszerű sávokban, kavarogva sülyed lefelé a vízben, és közben **ezerszámsra villannak fel hol itt, hol ott az alumínium szemecskék**. Sülyedés közben ugyanis elfordulnak a vízben, és hol az egyik, hol a másik lapjukról verődik vissza a fény a szemünkbe — mintha parányi tükrök kavarognának a vízben.

(Tudjuk, hogy a szoba levegőjében lebegő apró porszemek csak akkor láthatók a napsugárban, ha a háttér sötét. Tegyük tehát a pohár víz mögé fekete vagy sötét színű papirost, akkor még szebb a látvány.)

Jól látjuk, amint ezek a csillogva felvillanó szemecskék alámerülnek és a pohár fenekére sülyednek.



165. Még szebb a látvány, ha fekete papírhengert húzunk a pohárra

De mást is észreveszünk! — Azt látjuk, hogy a sülyedő, nagyobb csillagok között apró, de jól láthatóan fel-felvillanó csillagocskák lebegve maradnak. — Órák, napok múlva is látjuk a pohárba eső napsugár útjában ezeket a sötét háttér előtt nagy számban felvillanó csillagokat. Ezek a parányi alumínium szemecskék már nem sülyednek észrevehetően, mégis forgolódnak, amit villogásuk bizonyít.

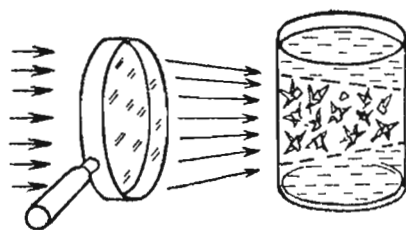
Miért forgolódnak? — Azért, mert a kis alumínium lapocskáknak az állandóan mozgó vízmolekulák milliói ütköznek neki. A külön-

böző oldalakon ütköző molekuláknak sem a száma, sem a sebessége nem egyenlő, ezért mozdulnak hol ide, hol oda az alumínium szemcskék.

2. Kísérlet: még parányibb részecskék táncában gyönyörködhetünk. Készítsünk fekete papírból egy hengert, amelyet majd ráhúzhatunk a pohárra (165. ábra). A papíron vágjunk egy 2-3 cm átmérőjű, kör alakú lyukat: ezen át jutnak majd a pohárba a tükörről visszavert napsugarak. Vágjunk a papírhenger oldalába egy négyszögletes ablakot is. Ezen át figyeljük majd a napsugarak útját a vízben. (Az ablak kimetszésekor a kivágott papirost — mint kinyitott ablakszárnyat — hagyjuk meg a lyuk felőli oldalon, hogy elárnyékolja előlünk a lyukhoz érkező fényt.)

Ha papírtok van a poháron, akkor nem is szükséges az asztalra tenni, hanem egyszerűen kézben tartjuk, és úgy állunk vele, hogy a lyukon át a pohárba süssön a Nap, és a papírtok ablakán át máris gyönyörködhetünk a szüntelenül villogó csillagokban.

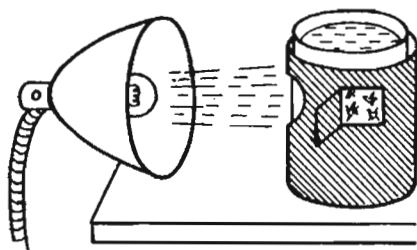
3. Kísérlet: még erősebb megvilágítás — még ragyogóbban nyüzsgő fénycsillagok (166. ábra). A tükörről visszavert fény útjába tartsunk



166. A fényerősséget fokozhatjuk, ha a fényt lencsével összegyűjtjük

nagyítólencsét (olvasólencsét, szemüveglencsét). Minél nagyobb átmérőjű a lencse, annál jobb. A lencse által keskeny nyaládba gyűjtött fényt ejtsük a papírtok lyukján át a pohárba. (Csak a szemléletesség miatt rajzoltuk az ábrát papírtok nélkül.)

Célszerű, ha valakit megkérünk, hogy tartsa a lencsét, és irányítsa a lyukon át a fényt, miközben mi figyeljük a felvillanásokat akár az oldalablakon át, akár úgy, hogy felülről nézünk a pohárba.



167. Este is ragyogóan szép a kísérletünk

A látvány nagyszerűségét még tovább is fokozhatjuk. Akinek néhányszoros nagyítású (4-8-szoros) kézi nagyítója van, nézze ezen keresztül is a felvillanásokat.

4. Kísérlet: este (167. ábra). Lehetőleg 100 W-os égővel ellátott asztali lámpa fényét küldjük a lyukon át a pohárba. Az izzó legyen egészen közel a lyukhoz, és **fedjük el szemünk elől a lámpa fényét.**

Sokkal szebb a látvány, ha a poharat távolabb tesszük a lámpától, és egy domború lencse keskeny nyaládba összegyűjtött fényével világítunk a lyukon át a pohárba.

Megjegyzés: Brown angol botanikus 1827-ben vízben levő virágporszemecskéket vizsgált mikroszkópjával. Megleődve látta, hogy a szemecskék mozognak, táncolnak, mintha valami láthatatlan erő lökdösné őket. — Ezt a jelenséget **Brown-féle mozgásnak** nevezzük. Minél melegebb a víz, annál hevesebben lökdösdnek a vízmolekulák. Ezért a Brown-féle mozgás a molekulák hőmozgásának a következménye.

V. KÍSÉRLETEZZÜNK A FÉNNYEL

Mérjük a fényerősséget

A villanykörtéken megtaláljuk a **watt** számjelzését. Kérek 15 W-os, 40 W-os, 100 W-os körtét, mondjuk vásárláskor. A wattszám tájékoztat arról, hogy hány gyertyafényű a villanykörte; ahány watt, kb. annyi gyertyafényű. Ha petróleumlámpával világítunk, nem is sejtjük, hogy lámpánk fényereje gyertyafény.

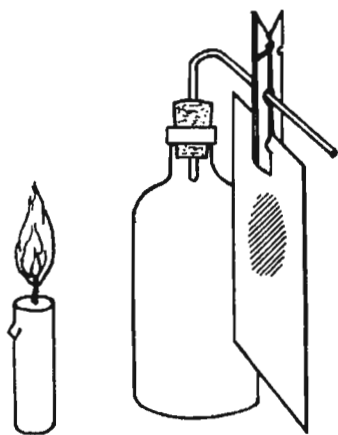
Nagyon egyszerűen meg lehet mérni azt, hogy egyik fényforrás erőssége hányszor nagyobb, mint a másiké, például egyik villanykörte hányszor fényerősebb, mint a másik, vagy a villanykörte hányszor több fényt ad, mint a gyertya vagy a petróleumlámpa.

Kísérlet: megmérjük, hogy hányszor nagyobb egy villanylámpa (petróleumlámpa) fényereje, mint egy gyertyaé.

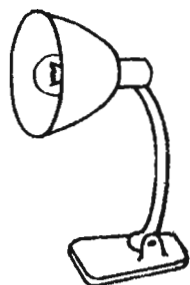
A gyertyát és a villanylámpát (petróleumlámpát) kb. 0,5-1 méter messzire helyezük egymástól.

Egy füzetlap nagyságú papírlap közepét parányi zsírral (olajjal) megkenjük, azután egy vagy két csipesz segítségével felfüggesztjük a literes üveg dugójába szúrt merev drótra mint állványra (*168. ábra*). — Ha a papírlapra csak az egyik oldalról esik fény, és erről az oldalról nézünk a lapra, akkor a folt sötétnek látszik (ha a másik oldalról, akkor világosnak).

Tegyük a zsírfoltos papírlapot az ábra szerint a két fényforrás közé, és mozgassuk mindaddig lassan jobbra-balra, amíg olyan helyet nem találunk, ahol bármelyik oldalról nézünk is a papírlapra, a zsírfolt **egyformán** kevésbé tér el a papírlap megszírozatlan részének világosságától (teljesen eltüntetni a zsírfoltot nem lehet).



168. Egy zsírfoltos papírlap segítségével könnyen megmérhetjük, hogy a villanylámpa fényereje hányszor akkora, mint a gyertyaé



Ebben a helyzetben a papírlapot egyenlően világítja meg mindkét fényforrás, a gyertya is meg a villanykörte is.

Ha ebben a helyzetben mindkét fényforrás ugyanolyan távol lenne a papírlaptól, akkor fényerejük egyenlő volna. De ha valamelyik távolabb van, annak a fényereje nagyobb, mégpedig ha 2-szer távolabb van, akkor fényereje $2 \times 2 = 4$ -szer nagyobb, ha 3-szor távolabb van, akkor $3 \times 3 = 9$ -szer nagyobb, mint a másik fényforrásé.

Mérjük tehát le centiméter-beosztással a fényforrások távolságát a zsírfoltos papírlaptól egyenlő megvilágítás esetén. — Legyen például az egyik távolság 80 cm, a másik 20 cm. Osszuk el a nagyobbik távolságot a kisebbel, $80 : 20 = 4$. Tehát az erősebb fényforrás 4-szer messzebb van, ezért fényereje $4 \times 4 = 16$ -szor akkora, mint a másiké.

A kísérletünkben szereplő villanykörte tehát 16-szor annyi fényt sugároz, mint a gyertya.

Egy 100 W-os villanykörte kb. annyi fényt sugároz, mint 100 gyertya. A telihold pedig kb. akkora megvilágítást idéz elő, mint egy közönséges gyertya 1,4-2 méter távolságból.

Megjegyzés: vigyázzunk arra, hogy a zsírfolt a két fényforrást összekötő egyenesben legyen, és a papírlap merőlegesen álljon erre az egyenesre.

Megfigyelés: kísérletünk alkalmával észrevevesszük, hogy nehéz megállapítani a papírlapnak azt a helyzetét, amelyben a zsírfolt mindkét oldalról egyenlőképpen látszik, mert a gyertya oldaláról nézve más színű (vöröses) a megvilágítás, mint a villanylámpa oldaláról. Azért jó, ha többször egymás után megállapítjuk a helyzet, vagy másokkal is megállapíttatjuk. Az így nyert helyzetek középértékével számolhatunk.

A gyertya fényében azért több a vörös szín, mint az izzólámpa fényében, mert a gyertyaláng hőmérséklete csak $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, a villanylámpában izzó volfrámszálé pedig $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$. De még a villanylámpa fénye is vöröses a napfényhez képest, mert a Nap felületének hőmérséklete $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sötétkamra készítése

1. Kísérlet. Rajzlap nagyságú kék csomagolópapírba szúrjunk 2-5 mm átmérőjű lyukat. Menjünk a szobában az ablakkal szemközt levő falhoz, és tartsuk a lyukas papírt néhány centiméterre a faltól. Az ablak és az ablakon kívüli világ fordított képe rajzolódik a falra (vagy az oda akasztott fehér papírlapra).

Távolítsuk a lyukas papírt a faltól — nagyobbodik a kép, de fényerejéből egyre veszít.

Ugyanígy előállíthatjuk a lámpa, a gyertya képét is este a falon.

2. Kísérlet: sötétkamra hengeres konzervdobozból. Az üres konzervdoboz fenekének közepén üssünk szeggel 2-5 mm átmérőjű lyukat. A doboz tetejét pedig fedjük le áttetsző papírral (selyempapír, pergamenpapír). Ha a lyukat fényforrás vagy az ablak felé fordítjuk (a szoba sötét belsejéből), a doboznyílást fedő papírlapon megjelenik a kép.

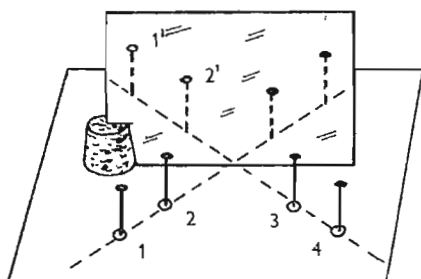
Ha az áttetsző papír helyébe fényképezőlemezt vagy filmet tennénk, akkor fényképet is készíthetnénk a lyukkamrával. Ha a lyuk kellőképpen kicsiny lenne, fényképezőgépünk nagyon tiszta képet adna, csakhogy néhány százszor hosszabb ideig tartana az expozíció, mint a szokásos (lencsés) fényképezőgép használatakor.

A fényvisszaverődés

Hogyan verődik vissza a fény az üveglapról?

Kísérletünkhöz egy tükördarabka szükséges. Állítsuk a tükröt egy sima deszkalapot (rajztáblát) befedő papírlapra. Hogy megálljon a tükör, szélét parafa dugóba vágott nyílásba szorítjuk (169. ábra).

Tűzzünk le a tükör elé két gombostűt (az ábrán 1 és 2). A tükörben látjuk a két tű képét. — Most egy harmadik tűt (3) tűzzünk le a tükör elé, de úgy, hogy az előző két tűnek a tükörben látott két képével egy egyenesbe essék. Ugyanúgy tűzzük le a negyedik (4) tűt is. — Ezután a tükör alapéle mentén ceruzával egyenest húzunk (hogy jelezze a tükör állását), a gombostűk beszúrási helye köré pedig kis köröket rajzolunk (hogy biztosan tudjuk, hol állottak a tűk).



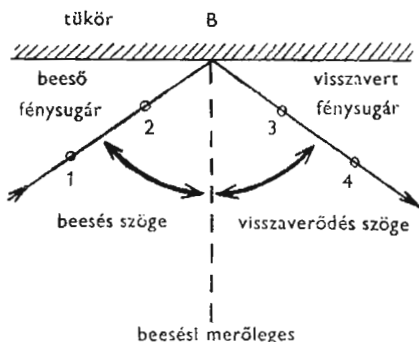
169. Így állapíthatjuk meg a fényvisszaverődés törvényét tükörrel és gombostűkkel

Távolítsuk el a tükröt, és szedjük ki a gombostűket. Vonalzóval húzunk egyenest az 1. és 2. tű beszúrási helyén át, majd a 3. és 4. tű helyén át. A két egyenes közös B pontban (beesési pont) metszi a tükröt. Rajzoljunk a papíron a B pontban a tükör alapéleire merőlegest (a beesési merőleges).

Ekkor a 170. ábrához jutunk.

Az ábrán könnyű méréssel igazolni a fény visszaverődésének törvényét: a visszaverődés szöge egyenlő a beesés szögével.

Bármilyen szögnél ezt az eredményt kapjuk.



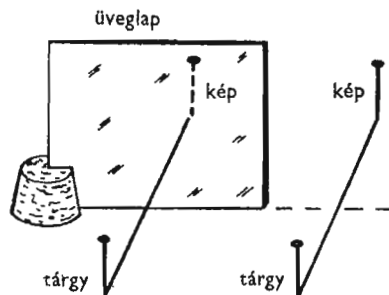
170. A fénysugár beesési szöge ugyanakkora, mint a visszaverődési szöge

Milyen messze jelenik meg a kép a tükör mögött?

Kísérlet. Közönséges, átlátszó üveglapot állítsunk fel (dugóba szorítva) papírlapunkra. Az üveglap elé — néhány centiméter távolságra tőle — szúrjunk le egy gombostűt (vagy tegyünk oda valamilyen tárgyat, például hátára állított rajszzeget). Ennek halvány képét látjuk az üveglapban mint tükörben.

Szúrjunk a tükörben látott tű (rajszzeg) helyére egy gombostűt úgy, hogy a kép és a kép helyére szúrt tű pontosan fedjék egymást (171. ábra).

Húzzunk a tükör alapéle mentén ceruzával egy vonalat, azután távolítsuk el a tükröt.



171. A kép a síktükör mögött ugyanakkora távolságban jelenik meg, mint amilyen távol van a tükrőtől

A papírlapon könnyű lemérni a tárgy és a kép távolságát a vonaltól (tükörtől). Azt látjuk, hogy a kép a síktükör mögött ugyanakkora távolságban jelenik meg, mint amilyen távol van a tükörtől a tárgy.

Tanulságos kísérlet az ablakkal

Nyissuk ki az ablakot. Mint tükörben látjuk magunkat. — Miért nem látjuk tükörképünket az ablakban akkor, ha az ablak be van csukva? — Hiszen akár nyitva van az ablak, akár csukva, a rólunk kiinduló fénysugarak egyaránt visszaverődnek az üveg lapjáról — van kép!

Ez igaz. Csakhogy a tiszta, átlátszó üveglemezről a merőlegesen ráeső fénynek csak mintegy 3-5%-a verődik vissza. A kívülről, az ablaküvegen átjövő fény pedig olyan erős ehhez képest, hogy elnyomja a mi gyenge fényű, visszatükröződő képünket.

De ha ezt az üveglapon átjövő fényt csökkentjük, például úgy, hogy kinyitjuk az ablakszárnyat, és a szoba sötét része a háttér, akkor jól látjuk magunkat az ablaküvegben.

Nem kell kinyitni az ablakot este — amikor kinn sötét van, nem jöhet át fény az ablakon —, ilyenkor kitűnő tükör az ablak.

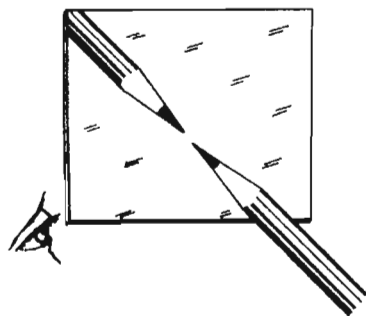
Ugyanez a magyarázata annak is, hogy nem látunk be az üvegablakos szekrénybe, nem látunk be a kirakatba, ha a fényes égbolt tükröződik az üveglapon. Pedig az üveg átlátszó, és a mögötte levő tárgyakról jövő fénysugarak egyaránt szemünkbe érnek, akár tükröz az üveg, akár nem. Csakhogy most a visszavert fény erősebb, mint az üveglapon átjövő fény.

Ha szemünknek olyan tulajdonsága lenne, hogy a visszavert fényt nem érezné meg vagy nem eresztené be, akkor a fényesen csillogó üvegen is átlátnánk.

Milyen vastag a tükörüveg?

Kísérlet. Nézzünk oldalról a tükörlapra, és érintsünk hozzá egy ceruzahegyet (172. ábra). Az odaérintett és a tükörben látszó ceruzahegy nem találkozik, mert a visszaverő felület az üveg ezüstözött hátsó lapja — a ceruza pedig az üveg első lapjához ér. A két ceruzahegy között tehát bizonyos távolság van — a tükörüveg vastagsága ennek a távolságnak a fele.

Figyeljük meg, hogy a tükörben két ceruzakép látható, az egyik erős (ez a tükör hátsó lapján tükröződik). A másik kép nagyon halvány (ez a tükör első felületén tükröződik, amit az bizonyít, hogy a halvány ceruzakép érintkezik az odaérintett ceruzahegygel).



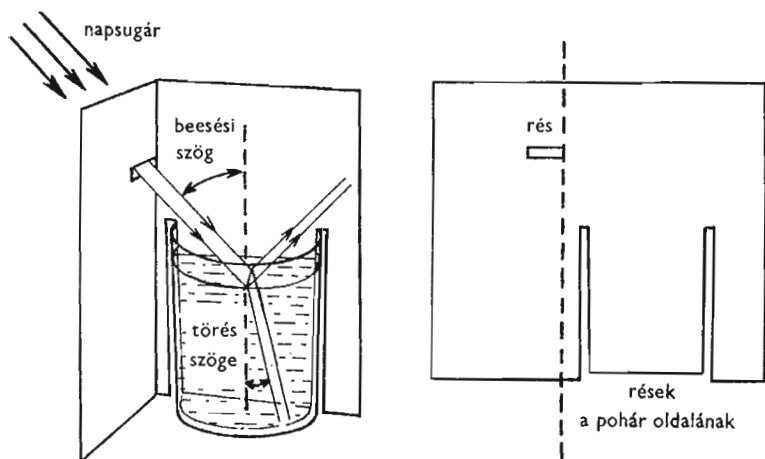
172. Így becsülhetjük meg a tükör üvegének vastagságát

Láthatóvá tesszük a visszavert fény útját

Szükséges hozzá egy vízzel majdnem tele üvegpohár és egy levelezőlap nagyságú, fehér, kemény papírlap. Ez a papírlap arra kell, hogy a rajta vágott résen a napfényből egy fénynyaláb mehessen keresztül.

A fénynyaláb további útján majd súrolja a papírost, a papíron megjelenő fénysáv mutatja a fénynyaláb útját (173. ábra).

A papírlap bal oldalára, a vízszintes felezővonal felett 3-4 mm széles rést vágunk. Ezután a rés jobb oldali végén a papírlapot derékszögben meghajlítjuk. Attól függően, hogy mekkora poharunk van,



173. Láthatóvá tehetjük a visszavert és a megtört fénysugár útját

a pohár széle számára is metsszünk két rést a papírlapba az ábra szerint, hogy a papírlapot a pohárba állíthassuk. A papír egy része tehát a poháron kívül lesz, a másik része pedig a poháron belül, a vízben.

1. Kísérlet: a szabályos fényvisszaverődés. Állítsuk poharunkat a napsugárba, és úgy igazítsuk (emeljük, fordítsuk) a papírlapot, hogy a résen átjövő napsugár útja a papírlapon látható legyen, és a napsugár a víz felszínére essék. Rövid próbálgatás után a visszavert fénynyaláb útja is látható a papírlapon.

Jó, ha a poharat nem kézben tartjuk, hanem asztalra vagy székre helyezük, mert különben a vízfelszín remegése miatt elmosódott lesz a visszavert fénysugár útja.

Ha a víz felszínére merőlegest képzelünk a fénynyaláb beesési helyén, akkor a szabályos fényvisszaverődésre az előző kísérletben talált törvényt szemmel láthatóan igazoltnak találjuk.

Kitűnően mutatja a kísérletünk azt is, hogy egy párhuzamos sugárkából álló fénynyaláb a sima lapon (a nyugvó vízfelületen) történő visszaverődés után is együtt marad (párhuzamos nyalábban).

2. Kísérlet: a szabálytalan visszaverődés, a fényszóródás. Állítsuk be eszközünket úgy, hogy a beeső meg a visszaverődött fénynyaláb nyoma is jól látható legyen a papírlapon. Azután egy kis fapálcikát mártogassunk a vízbe, hogy a sima vízfelszín megzavarjuk.

A visszavert fénynyaláb nem marad együtt, nem marad egyirányú, hanem szétterül, szétszóródik, és a legkülönbözőbb irányokba halad aszerint, hogy milyen helyzetű vízfelületről verődött vissza.

Megjegyzés: papír helyett érdemes fémlemezből elkészíteni a réssel ellátott lapot, és fehér festékkel bemázolni. (A fémlemez nem ázik el.)

Érzékeny „földrengés”-jelző

Hogyan lehet kimutatni a padló mozgását, rezgését még akkor is, ha az illető helytől 5-10 m távolságban jár valaki?

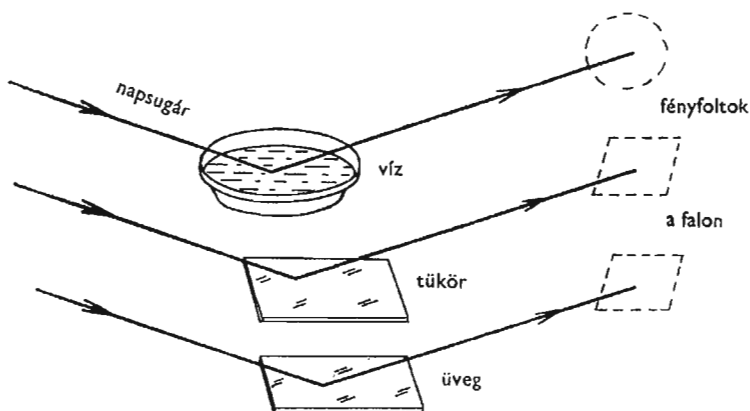
Kísérlet. Tegyük le egy edényben vizet a padlóra, az ablakon bejövő napsugár essék a víz felületére, a visszaverődő fénynyaláb fényes foltot okoz a falon. Ez a fényfolt minden lépéskor erősen remegni kezd.

Sima felületek fényvisszaverő képessége

Ha valakitől megkérdeznénk, hogy a tiszta üveg vagy a víz felszíne veri-e vissza a fényt nagyobb mértékben, aligha tudna rá válaszolni, pedig egy könnyű kísérlet megmutatja még azt is, hogy a különböző, teljesen átlátszó üveglemezek között is igen jól észrevehető különbségek vannak abban a tekintetben, hogy a rájuk eső fényből mennyit vernek vissza.

Kísérlet. Tegyük a padlóra egymás mellé a visszaverő felületeket — egy edényben vizet, üveglapot, tükröt — úgy, hogy a napsugár rájuk essék. A róluk visszavert fény a szoba mennyezetén, vagy a visszavert fény útjába tartott papírlapon fénylő foltokat alkot. **A foltok fényessége között jól észrevehető különbségek vannak** — ez mutatja, hogy a felületek fényvisszaverő képessége különböző (174. ábra).

Hasonlítsuk össze a fényfoltok fényességét. — Az üveglapról vissza-



174. A különféle visszaverő felületek (víz, tükör, üveg) különböző fényességű fényfoltokat idéznek elő a falon vagy a mennyezeten

verődött fény sokkal fényesebb foltot okoz, mint a víz felszínéről visszaverődött fény. Tehát az egyszerű üveglap több fényt ver vissza, mint a víz felülete.

De következik-e egyszerű kísérletünkből az, hogy az üveglap felszíne több fényt ver vissza, mint a víz felülete?

Nem következik!

Az üveglapnak ugyanis két oldala, két felszíne van. A fény visszaverődik az alsóról is meg a felsőről is. Ez a kettő okozza a folt fényességét. — Víz esetén azonban csak a víz felszínéről, tehát egyetlen felületről verődik vissza a fény. Hogy ez valóban így legyen, a tálnak vagy a tányérnak a feneké ne legyen fehér, mert különben az innét visszaverődött fény növeli a kísérletünkben megfigyelt fényfolt fényességét.

Tudományos mérések szerint a víz felszínéről a merőlegesen ráeső fénynek 2%-a verődik vissza, az üveglap egyik felületéről pedig 5%.

Érdeemes megjegyezni azt, hogy a fehér írópapír felületéről a ráeső fénynek 60-80%-a verődik vissza (de nem egyenes irányban, hanem minden irányban, mint szórt fény).

Érdekes megfigyelni a tükörhöz és az egyszerű üveglaphoz tartozó fényfoltok erősségét. **A tükörét sokkal fényesebbnek látjuk**, de nem annyiszor fényesebbnek, mint ahányszor több fény esik oda.

Ha **fényerősségméréssel** állapítanánk meg a tükörről visszaverődött fény mennyiségét, azt 10-15-ször többnek találánk, mint az egyszerű üveglapról visszaverődött fény mennyiségét (**ez a fény fizikai erőssége**).

Ha azonban bárkit megkérdeznénk, hogy hányiszor fényesebbnek becsüli a tükörhöz tartozó fényfoltot, mint az üveglapról visszavert fényfoltot, akkor sokkal kisebb számot mondana.

Ezzel egy nagyon fontos törvényt látunk igazolva: a fénynek a szemünkre gyakorolt hatása (**az élettani fényerő**) **nem növekedik arányosan a fény fizikai erősségével**. A tükörről azért verődik vissza sokkal több fény, mint az üveglapról, mert a tükör üvegének hátsó lapját fémmel vonják be. A fémek pedig a rájuk eső fénynek nagy százalékát visszaverik.

Néhány fém fényvisszaverő képessége: arany 85%, réz 73%, alumínium 72%, ólom 61%, vas 56%.

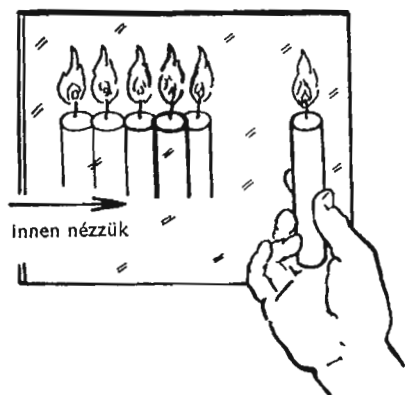
Hat-hét kép a tükörben

Amikor üvegtükörrre esik a fény, kisebb része (3-5%) a tükör első felületéről, nagyobb része pedig a tükör hátlapjáról verődik vissza. (Az összesen visszaverődött fény ezüstözött hátlapú tükörről 88%, higanynal foncsorozott tükörről 70%.)

Ezért látható a tükörben legalább két kép, az egyik gyenge fényű, a másik 10-20-szor fényesebb. A fényesebb kép mellett rendszerint nem vesszük észre a gyengébb fényűt.

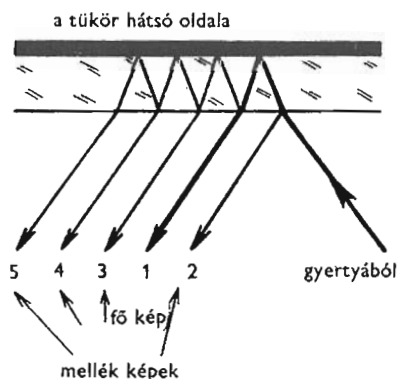
Kísérlet: sok kép a tükörben. Tartsunk egy égő gyertyát közel a tükörhöz (1-2 cm), és nézzük oldalról, a tükör síkjához közel tartott fejjel a képet. Sok gyertya látszik a tükörben egymás mellett, és egyre halványulnak a képek (175. ábra).

Ennek magyarázata a következő (176. ábra): a gyertyából a tükörrre érkező fény egy része a 2 jelű sugár irányában visszaverődik. Ezért ebben az irányban látunk egy gyengébb fényű gyertyaképet. De a



175. A gyertya lángjának sok képét (5-6) látjuk egymás mellett

gyertyából a tükörhöz érkező fény legnagyobb része behatol a tükör-
üvegbe, a tükörlap foncsorozott hátsó oldaláról visszaverődik, és a
tükör első határfelületére ér. Itt a fény kisebb része újra visszaverődik
a tükör hátsó oldala felé, de a fény nagyobb része kilép a levegőbe
(1. sugár), és ennek irányában látjuk a fő képet. Kövessük most a
visszaverődött rész útját. Ez a fénysugár a tükör foncsorozott oldalá-
ról ismét visszaverődik, azután megint a tükörlap első felületére ér.
Itt egy része kilép a levegőbe (3. sugár). Ebben az irányban látunk
egy új mellékképet. De a fény másik része megint az üvegbe verődik



176. Így keletkeznek a tükörlap két
oldalfelületén visszaverődött sugarak ré-
vén a mellékképek a fő kép két oldalán

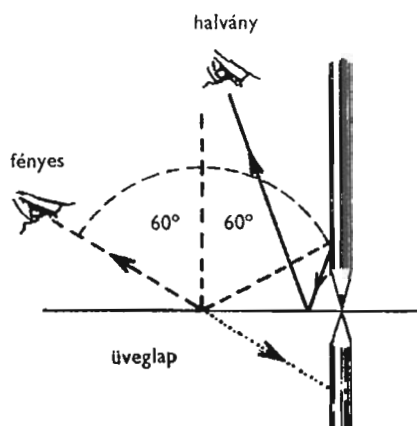
vissza, a foncsorozott oldal felé. Itt újra visszaverődik, és folytatódik az, amit eddig leírtunk. Így keletkezik a 4. és 5. mellékkép.

Figyeljük meg, hogy a mellékképek közül a legfényesebb (2) a fő tükörkép (1) egyik oldalán látható, míg az egyre gyengülő többi (3, 4, 5, ...) mellékképek sorozata a másik oldalon jelenik meg, — amint ezt a sorrendet a 176. ábra is érthetővé teszi.

Amit nem tanítanak az iskolában

Fektesünk magunk elé az asztallapra egy üveglapot. Tegyük alá sötét színű papírt. Egy ceruzát az asztallapra merőleges állásban szorítsunk az üveglaphoz, azután figyeljük meg a ceruzának az üveglapban látható képét arról az oldalról, ahonnan a ceruza a megvilágítást kapja.

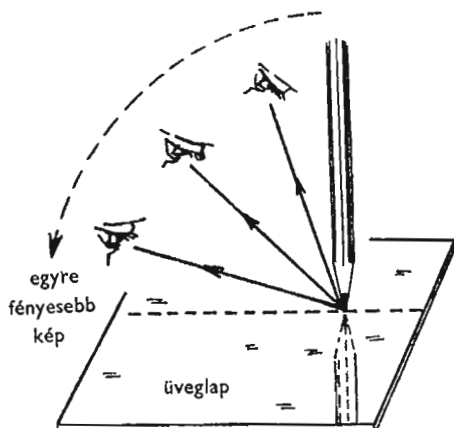
Kísérlet. Először nézzük felülről a ceruza képét (177. ábra). Azután mindinkább oldalról. Azt látjuk, hogy a ceruza képe fényesebb lesz. Végül, amikor már annyira oldalról nézzük a ceruza képét, hogy fejünk csaknem az asztallaphoz ér, majdnem olyan fényesnek látjuk a ceruza képét, mint amilyen fényes az igazi ceruza. Mintha nem is egyszerű üveglapban, hanem tükörben néznénk.



177. Mennél nagyobb a beesési szög, annál fényesebb a kép

Mi az oka ennek a meglepő tapasztalatnak?

A ceruza képét azért látjuk az üveglemezben, mert a ceruza egyes pontjairól jövő fény (178. ábra) visszaverődik az üveglemezen, és szemünkbe jut. Kísérletünk azt mutatta, hogy ha szemünk az ábra szerint alul van, vagyis a fénysugár beesési szöge nagy, akkor a képet fényesnek látjuk. Szemünk felső helyzetében a beesési szög kicsiny, a képet halványnak látjuk, mert kevés fény verődik vissza.



178. Nézzük a ceruza képét egyre inkább oldalról az üveglapban. A kép egyre fényesebb

Tehát tapasztalatunk magyarázata az, hogy: az üveglapról visszaverődött fény mennyisége az üveglapra jutó fény beesési szögétől függ.

Táblázatunkból leolvashatjuk, hogy az üveglapra eső fénynek hány százaléka verődik vissza különböző beesési szögek esetén, az üveglap két felületéről összesen.

A beesés szöge (fok)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
A visszavert fény (%)	9,4	9,4	9,6	10,6	13	20	36	70	100

Tegyük fel, hogy szemünk a 177. ábrán az 1 jelzésű helyzetben van, és a beesési szög 20° . Ekkor a fénynek csak 10%-a jut szemünkbe.

A kép halvány. — De amikor fejük már majdnem az asztallaphoz ér, és mondjuk 80° a beesési szög, akkor a fénynek 70%-a verődik vissza szemünkbe, a képet fényesnek látjuk!

Kérdés: kísérletünkben észrevehettük, hogy miközben egyre inkább oldalról néztük a ceruzaképet, a kép fényessége csak **lassan** növekedett. — De amikor fejük közeledett az asztal síkjához, **hirtelen** nagyon fényes lett a kép. — Miért? (A táblázat adja meg a feleletet.)

2. Kísérlet: ki látta már, hogy sötét árnyékot vet a tiszta üveglap? Tartsunk egy tiszta üveglapot a napsugárba (lámpafénybe) úgy, hogy a fénysugarak merőlegesen essenek az üveglapra. A lap mögé pedig tartsunk fehér papírlapot. Az üvegen átmegy a fény 90%-a, ezért csak halvány árnyékot vet a papírlapra.

Ezután tartsuk egyre ferdebben az üveglapot, hogy egyre rézsútosabban essenek rá a napsugarak. Az üveglap árnyéka egyre sötétebb lesz. Végre olyan feketének látjuk, mint az üveglapot tartó kezünk árnyéka. — Ilyenkor ugyanis, mivel nagyon ferden esik a lapra a fény, 90%-a is visszaverődhet, a maradék 10% jut csak át az üveglapon.

3. Kísérlet: a legegyszerűbben. Nézzünk az üveglapon át az üveglapra merőlegesen az égbolt felé. Az üveglapon át majdnem olyan fényesnek látszik az égbolt, mint amilyen fényes az üveglap mellett. — De ha egyre ferdebben tartjuk szemünk előtt az üveglapot, egyre inkább szürkül az ég. Amikor már a nagyon ferden tartott üveglapon nézünk át, elsötétül az ég.

A nagyon ferden tartott üveglapról ugyanis az égboltról érkező fénynek 90%-nál is nagyobb része verődhet vissza, és csak a kevéske maradék fény jut a szemünkbe.

A fénytörés

Ha a fénysugár nem merőlegesen esik a víz (az üveg vagy más áttetsző anyag) felületére, behatol a vízbe, de megváltoztatja az irányát. Ezt igen egyszerűen kimutathatjuk.

Láthatóvá tesszük a megtört fény útját

1. Kísérlet: a megtört fény sugar. Nézzük a *173 ábrát* a könyv 217. oldalán. Látjuk, hogy a fény sugar nemcsak visszaverődik a víz felszínéről, hanem egy része bele is hatol a vízbe, és útja a papírlapon jól látható. — Most figyeljük ezt a megtört fény sugarat. Észrevesszük, hogy

a) a megtört fény sugar úgy változtatja meg irányát, hogy a beesési merőleges felé törik meg abban az esetben, ha a fény sugar a levegőből megy a vízbe.

b) A visszavert fény sugar által okozott fény sáv fényessége sokkal gyengébb, mint a vízben tovahaladó megtört sugaré: a visszavert fény erőssége sokkal kisebb, mint az új közegbe (a vízbe) hatoló fény erőssége.

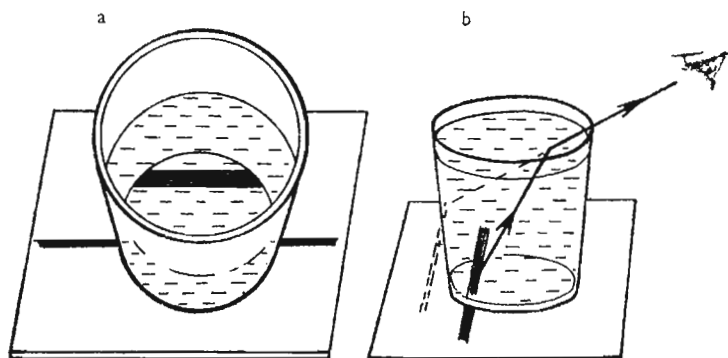
2. Kísérlet: a törés szöge másként változik, mint a beesés szöge. Világítsunk este villanylámpával a résen át, és süllyesszük a lámpát, akkor a fény nyaláb beesési szöge egyre nagyobb lesz. Figyeljük közben a megtört fény nyalábot; azt vesszük észre, hogy a megtört fény nyaláb távolodása a beesési merőlegetől sokkal kisebb mértékű, mint amilyen mértékben távolodik a beeső fény nyaláb a beesési merőlegetől. (Tehát a fénytörés törvénye nem olyan egyszerű, mint a fény visszaverődése.)

Egyszerű kísérletek a fénytörésre

1. Kísérlet. Húzzunk fehér papírra ceruzával vastag, fekete egyeneset. Tegyük az egyenesre egy üres üvegpoharat — a fekete egyenes kétoldalt kinyúlik a pohár alól. — Nézzünk a pohárba felülről — de kissé oldalról. A pohár fenekén át látott egyenes majdnem pontosan folytatása a pohár *túl* nyúló egyenesnek.

Öntsük a poharat tele vízzel, és nézzünk most a pohárba: a pohár fenekén keresztül látott vonaldarab feltűnően távol látszik a pohár *kívüli* egyenestől (*179a ábra*).

Magyarázat: a pohár feneké alatt fekvő vonaldarabból jövő fény

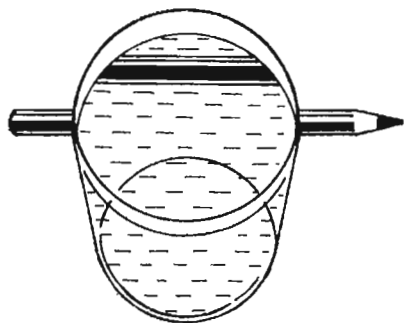


179. A pohár fenéke alatt levő fekete vonalat feltűnően eltolódva látjuk eredeti helyéről, (a). — Ez a jelenség fénytöréssel magyarázható (b).

a víz felületén irányt változtat, megtörik. Szemünk a megtört fénysugár irányában látja a vízen át a vonalat (179b ábra).

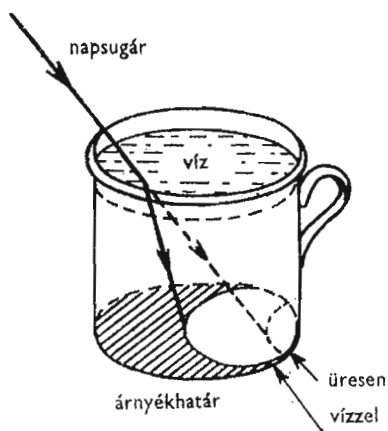
2. Kísérlet: még egyszerűbben. Tartsunk egy ceruzát az üres vizes-pohár oldalához, és felülről — a pohár nyílásán át — nézzünk feléje. — Az üvegen át látott ceruza majdnem pontosan folytatása a poháron kívüli ceruzarésznek.

Öntsük tele vízzel a poharat, és tartsuk az oldalához (fenekéhez közel) a ceruzát. A vízen keresztül látott ceruzarész erősen felemelkedve látszik (180. ábra). A ceruzáról érkező fénysugarak iránya megváltozik, miközben belépnek és kilépnek a vízből.



180. A vízzel telt pohár oldalához tartott ceruza, a fénytörés következtében, feltűnően felemelkedve látszik

3. **Kísérlet: bádogg pohárral és vízzel.** Ez a kísérlet egyszerűségében felülmúlhatatlan, és roppant szemléletes. Egy zománcozott (vagy alumínium) poharat állítsunk a napsütésbe (181. ábra). A pohár oldala elfogja a napsugarat, és a pohár fenekének egy része árnyékban lesz. (A pohár fenekén ceruzavonással kitűnően megjelölhetjük az árnyék határát.)



181. Ha vizet öntünk a pohárba, akkor a napsugár a pohár fenekének nagyobb részét világítja meg, mint akkor, ha üres a pohár

Ezután öntsünk vizet a pohárba. Kitűnően látható, hogy a napsugár most a pohár fenekének sokkal nagyobb részét világítja meg. A napsugár eltért eredeti irányától, megtörött akkor, amikor behatolt a vízbe.

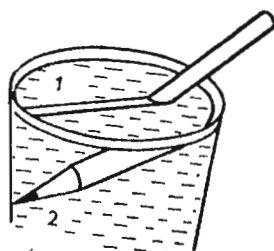
A kísérletet este is elvégezhetjük, a pohártól oldalt helyezett lámpa vagy gyertya fényének felhasználásával. Ebben az esetben még az az előnyünk is van, hogy a lámpát úgy állítjuk, hogy az árnyék éppen befedje a pohár fenekét. — A poharat természetesen nem szabad elmozdítani. A víz beöntése után a fenék egy része kivilágosodik — fény érkezik oda, ahová az előbb nem jutott.

Játékos kísérletek a fénytörésre

1. Kísérlet: a megtört ceruza. Vízrel telt üvegpohárba dugjuk bele kissé ferdén a ceruzát (182. ábra), és úgy nézzük, hogy a víz felszínét is lássuk meg a pohár oldalát is. — Két ceruzát látunk a vízben. Egyik a víz felszínén át látható (1) és erősen meg van törve, a másik a pohár oldalán át (2). — Ez kevésbé tört, és el van tolódva a levegőben levő ceruzához képest.

Azért jó, ha egyszerre látjuk mindkét ceruzaképet, mert ekkor könnyen megállapíthatjuk, hogy a víz felszínén át látott ceruza iránya mennyire tér el az eredetitől.

Mozgassuk kissé fel-alá fejünket, akkor az ábrán 1-gyel jelzett ceruzakép törésének nagysága (eltérése az eredeti iránytól változik).



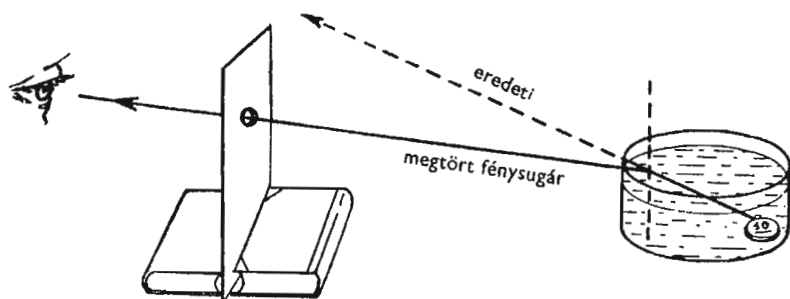
Ebben az esetben ugyanis a ceruza vízben levő részéről kiinduló fénysugarak más-más szög alatt esnek a víz—levegő határára, és a levegőbe kijutó fénysugár törésszöge (tehát iránya is) más-más lesz. Fejünk mozgatása közben más-más irányban látjuk a ceruza víz alatti részét.

182. A vízbe dugott ceruza töröttnek látszik

A látszólag felemelkedett pénzdarab

Kísérlet. Kemény papírlapba vágjunk nyílást, és a behajlított végét szorítsuk le nehezekkel (183. ábra). Egy lábost (vagy konzervdobozt) helyezünk olyan messzire a papírlaptól, hogy a nyíláson át beláthassunk ugyan az edénybe, de se a fenekét, se az edény fenekére tett tárgyat (például pénzdarabot) éppen ne lássuk.

Miközben a lyukon át nézzük, öntsön valaki vizet az edénybe — egyszer csak láthatóvá lesz az előbb láthatatlan pénzdarab, mintha felemelkedett volna a vízben.



183. Ha nincs az edényben víz, nem látható a feekén levő pénzdarab

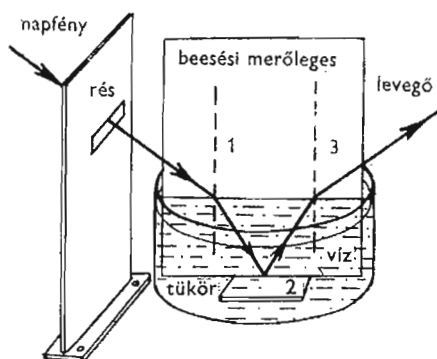
Magyarázat: tegyük fel, hogy az üres edényben a pénzdarabról elinduló fény sugar az ábrán látható „eredeti” sugar. — Ha vizet öntünk az edénybe, ez a fény sugar megtörik, elhajlik az eredeti sugar-tól, áthalad a lyukon, szemünkbe jut, látjuk a pénzt.

Mivel a tárgyakat mindig a szemünkbe jutó fény sugar irányában látjuk, azért a fénytörés miatt más helyen látszanak a tárgyak, mint ahol valóban vannak. — Minél inkább eltolódva látszanak, annál nagyobb a fény sugar törése.

Hogyan törik meg a vízből kijövő fénynyaláb?

Szükségünk van egy lábosra és egy tükördarabra (lehet tükörcserép). A lábosba vizet öntünk. A tükördarabkát a lábos fekére helyezük tükröző felületével felfelé. Ha napfény esik a tükörrre, visszaverődik. Láthatóvá akarjuk tenni a napsugar útját, miközben a levegőből a vízbe halad, megtörik, a tükörrre esik, onnan visszaverődik, majd újra a víz felületéhez ér, ahol újra megtörik, és kijut a levegőbe (184. ábra).

Kísérlet. A napsugarak útjába vízszintes réssel ellátott papírlapot teszünk. A tálba pedig keménypapírlapot helyezünk függőleges állásban és úgy igazítjuk be, hogy a résen átmenő fénynyaláb súrolja ezt a papírlapot; ekkor a fénynyaláb útja jól látható (ez általában könnyen sikerül).



184. A fénysugár útja a vízben látható a fehér lapon

Ebben az egyetlen összeállításban három jelenséget figyelhetünk meg. 1. Amint a fény a levegőből a vízbe jut és a beesési merőleges felé törik. 2. A szabályos visszaverődést a tükör felületén. 3. A fény törését, ha a vízből a levegőbe jut. Jól látjuk, hogy amikor a levegőbe (a ritkább anyagba, közegbe) ér — a beesési merőlegestől törik (a törés szöge nagyobb, mint a beesés szöge).

Igazolva látjuk az általános törvényt: **ha a fénysugár sűrűbb közegből jut ritkább közegbe, akkor a ritkább közegben még nagyobb szöget alkot a beesési merőlegessel, mint amekkora a beesési szög a sűrűbb közegben, tehát a beesési merőlegestől törik.**

A következő kísérletben meglátjuk, hogy ennek milyen fontos következménye van.

A teljes fényvisszaverődés

Egy meglepő jelenség — a teljes visszaverődés

Vízzel telt üvegpohárba megint egy kemény papírlapot dugunk a 185. ábra szerint, hogy a fény útja látható legyen rajta. A papírlap bal szélét derékszögben behajlítjuk, és most az alsó vége felé vágunk

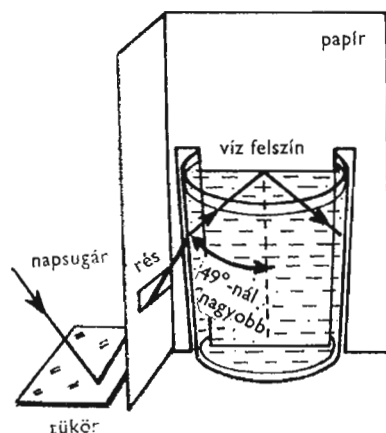
rajta egy vízszintes rést, ahol bejuthat a pohárban levő vízbe a fény. Csakhogy most a fénysugarat alulról felfelé akarjuk küldeni, hogy a vízben haladva érjen a víz felszínére (a víz—levegő határfelületre) és megfigyeljük, hogy milyen lesz a fény útja.

Kísérlet. Tegyük (vagy tartsunk) a pohár mellé egy síktükröt, és ezzel irányítsuk a napsugarakat alulról a réstre. — A papírt igazítsuk úgy, hogy a fénynyaláb útja jól látható legyen rajta.

Meglepődve látjuk, hogy mikor a fénynyaláb a vízben haladva a víz felületére ér, nem lép ki a vízből a levegőbe, hanem teljes egészében visszaverődik. Ha a fénynek csak egy kis része is kilépne a levegőbe, az a fény a papírnak a vízből kiálló részén látható lenne, de nem veszünk észre ilyen fényt.

Miért meglepő ez a jelenség? 1. Mert a víz is, a levegő is teljesen átlátszó, és íme, a fénysugár az egyik teljesen átlátszó közegből **nem** lép át a másikba. 2. A fényvisszaverődést mutató kísérleteinkben a levegő—tűveg vagy a levegő—víz határfelületen visszavert fény igen gyenge volt — a jelen esetben pedig a visszavert fény olyan erős, mint a beeső fény.

Megjegyzés: teljes visszaverődés csak akkor van, ha kísérletünkben sikerül a fényt úgy küldeni a pohárba, hogy a víz felszínére 49° -nál nagyobb beesési szöggel érjen. — Ha a fénysugár 49° -nál kisebb szög alatt ér a vízfelszínhez, akkor nincs teljes visszaverődés, és jól megfigyelhető a papírlapon a vízből kilépő megtört fénynyaláb és a szabályosan visszaverődött gyengébb fénynyaláb.



185. A teljesen visszaverődött fénysugár nyoma látható a papírlapon

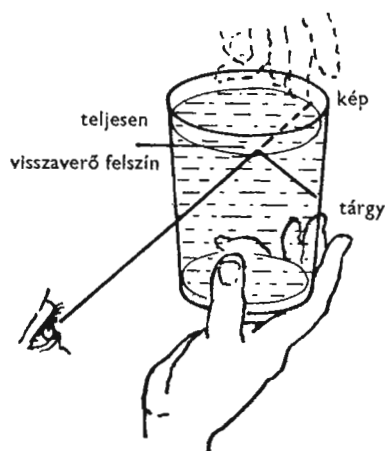
Miért verődik vissza teljesen a fény? Láttuk, hogy ha a fény sűrűbb közegből megy a ritkább közegbe, például vízből a levegőbe, akkor a törés szöge nagyobb, mint a beesés szöge. — Vízben már 49° beesési szög esetén 90° a törés szöge, vagyis a megtört fénynyaláb súrolja a vízfelületet. Ha tehát a fény még nagyobb szög alatt esik be, a törés szögének nagyobbak kell lennie, mint 90° , de ez lehetetlen. A fénysugár teljesen visszaverődik.

A vízfelszín mint teljesen visszaverő tükör

Kísérlet. Fogjunk kezünkbe egy vízzel telt üvegpoharat, és a 186. ábra szerint szorítsuk oldalához ujjainkat. A pohár másik oldaláról alulról nézzünk a vízfelszín felé. A víz felszíne alulról úgy csillog,

mint egy ezüstitűkőr, és a pohár másik oldalához szorított ujjaink fordított képét látjuk benne.

Magyarázat: az ujjainktól kiinduló és a vízfelülethez érő fénysugár teljesen visszaverődik. — Ha a másik kezünk ujját a pohárba dugjuk, a vízfelület fölé, akkor a tükröző vízréteg felett nem látjuk ujjunkat, pedig a víz átlátszó.

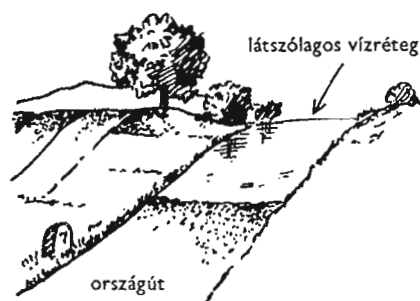


186. A víz felszínén, mint tükörben, a pohár oldalához tartott ujjunk fordított képe jelenik meg

Délibáb a vizespohárban

A délibáb úgy jelentkezik, mintha valahol a távolban víz fedné a talajt. Ez a látszólagos vízfelszín úgy csillog, mint a tükör (187. ábra). A délibáb helyén is teljesen átlátszó levegő van, de mégsem lehet a csillogó felszín alatt levő tárgyakat látni. Hogyan keletkezik a csillogó felszín, és miért nem látunk alája? Erre felelnek kísérleteink.

Kísérleteinkben egy vizespohárban figyelhetünk meg hasonló jelenséget. Teljesen tiszta, átlátszó anyagokról lesz szó: üvegről és vízről, és nem látunk át rajtuk, a tárgyak eltűnnek egy csillogó, tükörfényes felület alatt.



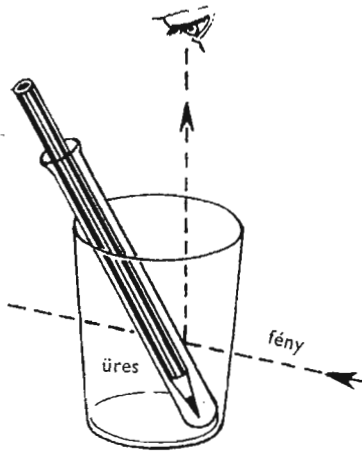
187. A délibábot leggyakrabban az országutak felületén figyelhetjük meg. Az útfelület távoli része úgy csillog, mintha vízzel lenne borítva. A járművek és az útszéli fák tükröződnek benne

1. Kísérlet. Egyik végén zárt üvegcsövet (kémcsövet, üvegfiolát) tegyünk ferde üvegpohárba. A csőbe tegyünk valamilyen nehezéket, például homokot, kavicsot, sörétet, és dugjunk bele egy ceruzát vagy egyéb pálcikát. Nézzünk a 188. ábra szerint a pohár nyílásán át a csőre. A csőbe tett tárgy természetesen jól látható.

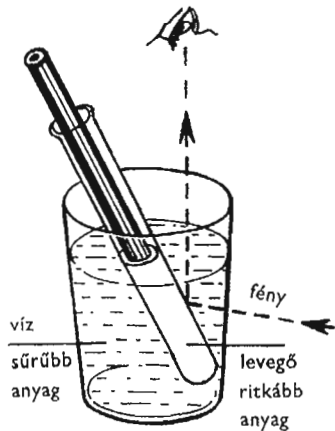
Öntsünk most lassan vizet a pohárba, és megint felülről nézzünk a csőre (189. ábra). Azt látjuk, hogy a csőben levő tárgyak fokozatosan eltűnnek szemünk előtt, miközben emelkedik a víz a pohárban, és az üvegcső felénk eső oldala ezüstösen fénylik — a tárgyak ez alatt a tükröző felület alatt tűnnek el.

Ez a jelenség azért meglepő, mert hiszen az üveg is meg a tiszta víz is szinte teljesen átlátszó, és mégsem látunk át rajtuk.

188. A pohár is, az üveg is átlátszó. Kifejezetten látható a csőben levő ceruza és a kavicsdarabkák



189. Az üveg is, a víz is átlátszó. Most mégsem látjuk a csőben levő ceruzát, a kavicsdarabkákat. Elrejtí elket az üvegeső ezüstösen csillogó felülete



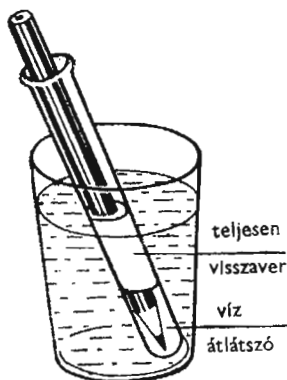
2. Kísérlet. Tartsuk ujjunkat a pohár oldalához, és kissé mozgassuk. A cső tükröző felületén mint tükörben látjuk ujjunk képét — mint ahogyan a délibáb látszólagos víztükrében is látjuk azoknak a tárgyaknak a tükörképét, amelyek a tükröző felület **felett** vannak.

3. Kísérlet. Miközben felülről nézünk a pohárba helyezett csőre, öntsünk lassan vizet a csőbe. Ott, ahol víz van a csőben, újra megjelenik a csőben levő tárgy, elbukkan a csőben levő ceruzának a vízben levő része, míg a ceruza (pálcika) többi részét láthatatlanná teszi az ezüstösen csillogó felület (190. ábra).

Ezek a kísérletek valóban érdekesek és el lehet szórakozni velük. Lássuk most a jelenség könnyen megérthető magyarázatát.

Magyarázat: nézzük a 189. ábrát. Ha oldalról fény esik a pohárba, a fény a **sűrűbb** vízből a csőben levő **ritkább** levegő határfelületére ér. De ilyenkor, ha a beesési szög nagyobb, mint 49° , akkor a fény teljesen visszaverődik. Ha a **pohárban** nincs víz, akkor az üvegesőről vissza-

vert fénynek kb. 5%-a jut csak szemünkbe — a csövet olyan fényesnek látjuk, mint közönségesen megszoktuk. — De ha a pohárban víz van és a fény a csőben levő levegő felületén teljesen visszaverődik, akkor a fény 100%-a jut a szemünkbe, 20-szor több, mint előbb; ezért látjuk a csövet fényesen ragyogni.



190. Öntsünk vizet az üvegsőbe. A vizet tartalmazó részen megszűnik a teljes fényvisszaverődés, Láthatóvá lesznek a csőben levő tárgyak

De miért nem látjuk a csőben levő ceruzát és más tárgyakat?

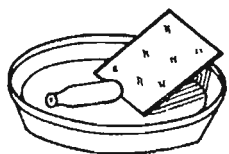
Hiszen ezekről akkor is jut fény a szemünkbe, ha víz van a pohárban, mert a levegőből a vízbe jutó fénysugár sohasem verődik vissza teljesen! Ez valóban így is van, de a szemünkbe jutó ragyogó, teljesen visszavert fényhez képest kevés a csőben levő ceruzáról, a sörétről jövő fény, úgyhogy nem is látszik a nagy fényesség miatt; hasonlóan ahhoz, ahogy nappal a csillagok fénye sem látszik a még fényesebb nappali égboltozat mögött.

4. Kísérlet. Nézzünk a 189. ábrán oldalról a pohár oldalán keresztül a csőre — nincs teljes visszaverődés, látjuk a csőben levő tárgyakat. Ugyanezt tapasztaljuk akkor is, ha jobban elfektetjük a csövet a vízben.

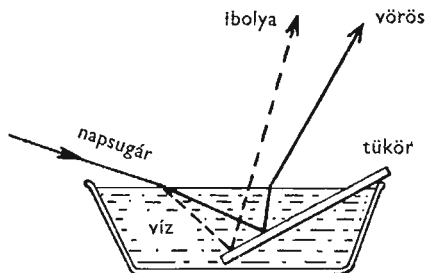
A színekre bomlás jelenségei

A színtelen fényt színekre bontjuk

Kísérlet — napsugárral. Az ablakon át a szobába eső napsugárba tegyünk egy 3-4 cm mélységű tányérkát, csészealjat. Leghelyesebb, ha a tányérkát a padlóra helyezzük. Tegyünk a tányérkába egy zsebtükört úgy, hogy a tükör egyik vége a tányér szélére támaszkodjék a *191. ábra* szerint. Öntsünk óvatosan vizet a tányérkába, hogy a tükör egy része a víz alá kerüljön. A víz kb. 2 cm mély legyen a tányérban. Hogy a tükör ne csússzon el a vízben, célszerű, ha az alsó végéhez például egy szódavizes patront teszünk. A tükör a *192. ábra* szerint forduljon a napsugár felé, és a napsugár essék elég laposan a vízfelszínre, a tükörrre. A víz felszínéről és a tükörnek a vízből kiálló részéről visszaverődött napsugár egy-egy fehér foltot okoz a mennyezeten, a falon. De felfedezhetünk egy szivárványszínű fényfoltot is. Ennek egyik vége vörös, a másik vége ibolyaszínű, és közben helyezkednek el a többi színek.



191. Tányérka a belehelyezett zsebtükörrel és a támasztó szódavizes patronnal

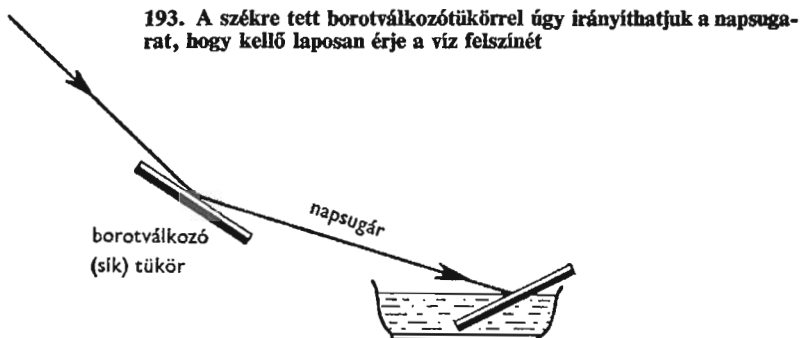


192. A napsugár megtörik, amikor belép a vízbe, és akkor is, amikor kilép a vízből. Mindkét esetben színeire is bomlik

Ha a tükröt kissé beljebb toljuk a vízbe vagy kijebb húzzuk, akkor a szivárványszínű fényfolt is elmozdul. Alább száll vagy feljebb emelkedik. Ily módon számunkra kedvező helyzetbe hozhatjuk.

Különösen ragyogó és remek színeképet állíthatunk elő, ha sikerül a tükröt úgy állítani, hogy a színek a szoba sötét részében jelenjék meg. Ez a rész rendszerint az ablak melletti falon van. A tányérka kis elforgatásával könnyű a színeképet kissé oldalt, a falra, vagy odébb, a sötét sarkokba vetíteni. Ha a fal nem fehér, akkor egy odatett fehér papírlapon is felfoghatjuk a színeképet. Olyan tündöklően ragyogó színeket lehet így előállítani, hogy nem tudunk betelni nézésével. A különféle színek 15-20 cm széles sávokban következnek egymás után. Sorrendjük: sötétvörös, égőpiros, sárga, zöld, zöldeskék, ibolya.

Magyarázat: a színtelen (fehér) fényben benne vannak a szemmel látható összes színek, de ezek különböző mértékben törnek meg. **Legkisebb törést szenved a vörös, legnagyobb törést az ibolya színű fénysugár.** A 192. ábrán megtörik a fénysugár akkor, amikor belép a vízbe, és akkor, amikor kilép a vízből. Mindkét helyen egyúttal színeire is bomlik. A másodszori törés még jobban szétbontja a színeket.

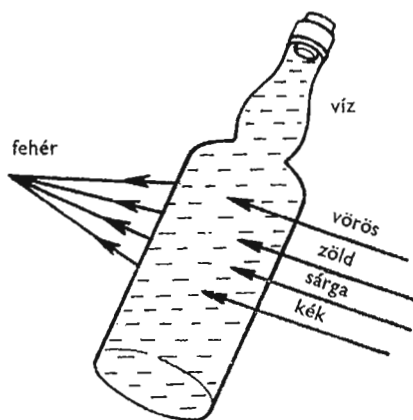


Megjegyzés: megtörténhet, hogy a Nap olyan magasan áll, hogy sugarai túlságosan merőlegesen esnek a szobába, a tükröre, és alkalmatlanok kísérletünkre. Ilyenkor a székre helyezünk egy borotválkozótükröt, és a tükrő síklapjáról visszaverődő fényt vetítjük a tányérkában levő tükröre (193. ábra).

A szivárvány színeit fehér fényé egyesítjük

Az előző módon előállított tündöklő színekkel igen tanulságos kísérleteket végezhetünk.

1. Kísérlet: színkeverés pötyögtetéssel. Miközben a falon ragyog a színek, mártogassuk bele ujjunk hegyét a vízbe. A vízfelszín hullámozni kezd, a színek különböző színei olyan gyors egymásutánban

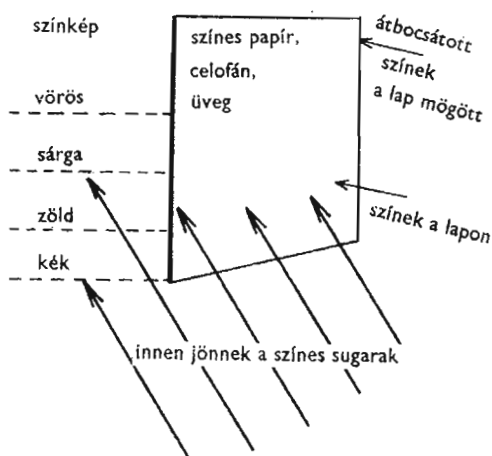


194. A szivárvány színeit egy üveg vízzel is fehér fényé egyesíthetjük

jutnak a falra, hogy egyenként már nem is tudjuk észrevenni őket, hanem keveréküket látjuk — a falon **fehér fényfolt jelenik meg** (194. ábra).

2. Kísérlet: a színek egyesítése egy üveg vízzel. Egy henger alakú, átlátszó (fehér) literes üveget töltünk meg vízzel. Tartsuk a falon megjelenő színek elé úgy, hogy az üveg oldala és a fal között 3-4 cm köz legyen. Ha megfelelően tartjuk az üveget, a falon egy fehér ragyogó fényes csík jelenik meg (194. ábra). Ebben az esetben azt is jól láthatjuk, hogy a színek összes színei az üvegre esnek, és a másik oldalon fehér fényé egyesülnek.

A vízzel telt üveg ugyanis úgy viselkedik, mint egy hengerlencse. A ráeső párhuzamos fénysugarakat egy fókuszvonalban egyesíti.



195. A falon megjelenő színkép elé tartunk átlátszó színes celofánt vagy színes üveglapot úgy, hogy mellette a színkép egy része szabad legyen. A lap mögött megjelenő színeket könnyű összehasonlítani a színkép eredeti színeivel

3. Kísérlet: színkeverés egy üveg vízzel. Mozgassuk vizesüvegünket lassan fel-alá a színkép előtt úgy, hogy ne minden szín essék az üvegre, de a másik oldalon megjelenjék a keskeny, fényes sáv: Azt látjuk, hogy ennek a sávnak a színe állandóan változik. Ha tehát a szivárványszínek közül valamelyik hiányzik, akkor a színek keveréke valamiféle új színt ad.

Természetesen kisebb, vízzel telt üveget is használhatunk kísérleteinkben.

Meglepetés a színszűrés körül

Gyűjtsünk mindenféle átlátszó színes celofánt és színes üvegdarabokat. Sőt némely háztartásban színszűrő is akad, ha valaki fényképezéssel foglalkozik.

Alighanem furcsának találnánk, ha valaki azt állítaná, hogy a piros vagy a zöld színű anyag más színeket is át bocsát magán. Egyszerű átnézéssel erről nem győződhetünk meg, de nagyon könnyen bizonyíthatókat szerezhethetünk róla az előbbi módon előállított színkép segítségével.

1. Kísérlet. Tartsunk a színkép elé színes átlátszó anyagot, például vörös színű celofánpapírt (195. ábra). A színes fénysugaraknak tehát

előbb a vörös celofánon kell áthaladniuk, mielőtt a falra esnének. Azt látjuk, hogy **a színekben kitűnően látható a többi szín is különböző erősséggel.**

Könnyű hozzájutni ahhoz a piros, áttetsző papiroshoz is, amibe a fényképészeti fényérzékeny papírokat csomagolják. Azt várnánk, hogy ez csak a vörös színű fényt engedi át magán. — A próba azt mutatja, hogy a színeknek még a legveszélyesebb ibolyakék színei is elég jól áthaladnak rajta.

Ha egy átlátszó anyag csak egy bizonyos színt bocsát át, akkor **színeképíleg tiszta színszűrőnek nevezzük.** Az ilyen színszűrő nagyon drága.

Leggyakrabban, például fényképezéskor, a különböző színű szemüvegek esetén **nem is az a célunk,** hogy egyetlen szín kivételével az összes többi színt kiszűrjük a színeképből, csak az, **hogy a színek egymáshoz viszonyított erősségét megváltoztassuk.** Ezt bizonyítja a következő:

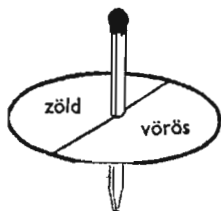
2. Kísérlet. Ha van színszűrőnk, amit a fényképezőgép lencséje elé szokás helyezni — tartsuk a színeképből. Azt látjuk, hogy ez a színszűrő sem akadályozza meg azt, hogy a színek többi színe áthatoljon rajta, csupán a **színek viszonylagos erőssége más a színszűrő mögött.**

Ugyanígy vizsgálhatjuk azt is, hogy a sötétkamra világításakor használatos (vörös, zöld) színszűrő lemez vagy a színes celofánpapír mekkora mértékben bocsát át magán más színeket is.

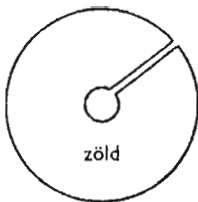
A színek összetétele

Kísérlet: színek a forgó korongon. A gyufaszálból és a 3-6 cm átmérőjű keménypapírból készült korongokkal keverhetjük a színeket, ha a korong részeit különféle színűre festjük (196. ábra).

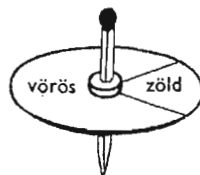
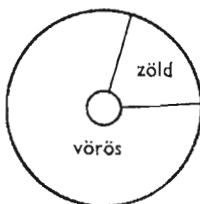
De célszerűbb megoldás az, ha színes papírból köröket vágunk ki, azokat egy körsugár mentén felmetsszük és egymásba bújtatjuk. Így az összekeveredő színek mennyiségét is könnyű változtatni: egyik vagy másik színes papírból engedünk többet előbújni (197. ábra).



196. Színkeverés pörgettyűvel



197. Bújtassunk egymásba felhasított színes korongokat. Változtathatjuk a kevert színek mennyiségét



Ha a vörös és a zöld színt a megfelelő arányban keverjük, szürkés-fehér színt látunk. Teljesen fehér színt csak akkor látnánk, ha ez a két szín **színképileg tiszta szín** lenne.

A színes papírlemezket a gyufaszálra húzott radírgumi-darabkával szorítjuk rá a korongra.

A fénytalálkozás (interferencia) jelenségei

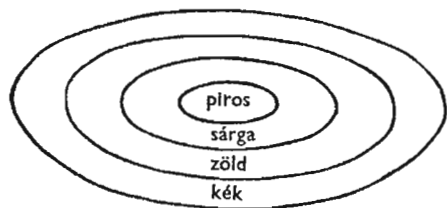
Olajfolt a vízben

Kísérlet. Lapos tányérba öntsünk vizet. Egy fogpiszkáló vagy más vékony tárgy hegyét mártsuk olajba vagy petróleumba. Az olajba mártott végét érintsük a víz felszínéhez. A vízre jutott parányi olajmennyiség azonnal szétterül a víz felületén, igen vékony rétegben.

Nézzünk oldalról a víz felszínére. A kör alakú olajfolt ragyogó vörös, zöld vagy kék színűnek látszik.

Ha most újra olajba mártjuk vékony pálcikánkat, és olajos végével megérintjük a színes folt közepét, gyönyörű látványban lesz részünk:

az érintés helyétől szivárványszínű körök indulnak ki és futnak az olajfolt széle felé (198. ábra). Ez annak a jele, hogy az előbbi vékony olajhártyára tett olajcseppecske szétterül a hártán, közben az olajréteg vastagsága a középtől kifelé folytonosan változik, ezért jelennek meg más-más színek. Az azonos színű körgyűrű az olajhártya azonos vastagságú helyeit mutatja.



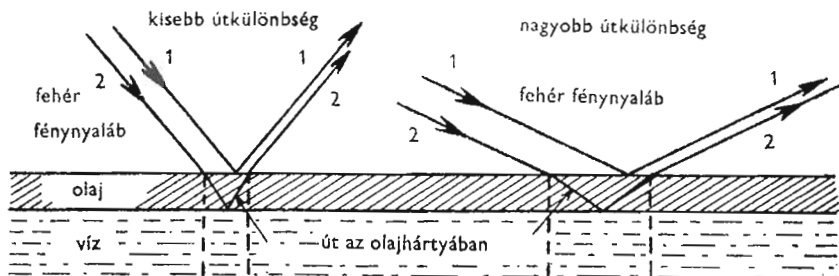
198. Miközben az olajcsepp szétterül a víz felszínén, különféle színekben ragyogó körgyűrűk látszanak

Ha felülről nézünk a víz felszínére, semmi különös sem látunk. A színek csak akkor jelennek meg, ha oldalról nézzük a víz színét. Emeljük feljebb-alább fejünket, változnak a színek.

Magyarázat: ez a kísérlet lényegileg hasonló ahhoz a kísérlethez, amikor a zsebóra mögé visszaverő lapot tettünk, és miközben fülünkkel távolodtunk az órától, jól észrevehetően változott a ketyegés hangszíne. A ketyegés zörejében levő sok különböző magasságú hang közül hol az egyik, hol a másik megszűnt, illetve legyengült, mert az illető hangnak az órától jövő hanghulláma és a lapról visszaverődött hanghullám úgy találkozott egymással (hullámhegy hullámvölgygel), hogy kioltották egymást.

Amint az óraketyegésben igen sokféle, különböző hullámhosszú hanghullám van, hasonlóan a napfényben benne vannak az összes színek.

Az olajrétegre eső fény visszaverődik az olajréteg felületéről is meg az olajréteg másik oldalán az olaj—víz határfelületéről is (199. ábra). Tehát szemünkbe két fénynyaláb érkezik. Az olajréteg felületéről visszaverődő fénynyaláb **rövidebb** úton jut a szemünkbe, mint az olajréteg másik oldalán visszaverődő fénynyaláb. — A fény is valamiféle hullámmozgás. Megeshet, hogy a napfényben jelenlevő valamelyik



199. A meredekebben beeső sugarak között (bal oldali ábra) kisebb az útkülönbség, mint a ferdébben beeső sugarak között (jobb oldali ábra). — Ezért változik az olajhártya színe, ha változó magasságból nézzük

(például a vörös) szín az egyik fénynyalábban hullámheggyel érkezik szemünkbe, a másik fénynyalábban pedig hullámvölgygel — kioltják egymást.

Az olajrétegről visszaverődött és szemünkbe érkező fényből tehát hiányzik az illető szín (például a vörös), és szemünk a megmaradt színek keverékszínét látja (az olajfolt zöld színben ragyog).

Most már érthető az is, amikor új olajcseppet viszünk az olajhártya közepére, miért látunk egyközepű színes gyűrűket szétterjedni a víz felületén: a különböző vastagságú olajrétegről érkező fénynyalábok között különböző nagyságú az útkülönbség, ezért hol az egyik, hol a másik színek hullámai oltják ki egymást — különböző színű lesz a megmaradt színek keveréke.

Két üveglemezzel bebizonyítjuk a fény hullámtermészetét

Kísérlet. Tisztítsunk meg jól két üveglemez-darabkát (például két mikroszkópi tárgylemezt). Helyezzük őket egymásra, és két kézbe fogva szorítsuk erősen egymáshoz. Nézzük a lemezek felületéről visszaverődő fényt (például az égbolt tükröződését). A lemezeket olyan színes alakzatokban látjuk ragyogni, mint az olajfoltot a vízen (200. ábra).



200. Két tiszta és sima felületű üveglemezt szorítsunk erősen egymáshoz, és nézzünk visszavert fényben a lemez felületére. Szabálytalan alakú, szivárványszínű csíkokat látunk

Ha ujjainkkal a nyomást fokozzuk vagy csökkentjük, ezek a fénytalálkozási (interferencia) csíkok változtatják alakukat, ide-oda mozognak.

Ha a nyomás erősebb (a levegőréteg az üveglemezek között vékonyabb), akkor a színes csíkok szétterülnek, ha a nyomás kisebb, akkor összesűrűsödnek.

Ennek a kísérletnek az elvégzése némi próbálgatást kíván.

Magyarázat: az üveglemezek felülete nem tökéletesen sima, azért ha egymásra fektetjük őket, vékony levegőréteg marad közöttük. Ez a vékony levegőréteg úgy viselkedik, mint a vékony olajhártya, és így fénytalálkozás jön létre.

Megjegyzés: 1. Még jobban sikerül a kísérlet, ha a két üveglemez közé az egyik végükön egy szelet írópapírt teszünk és így nyomjuk össze a lemezeket.

2. Interferenciátünetmények csak hullámjelenségekkel kapcsolatban keletkeznek. Az, hogy a fénynél ilyen tapasztalunk, azt mutatja, hogy a fénynek hullámtermészete van.

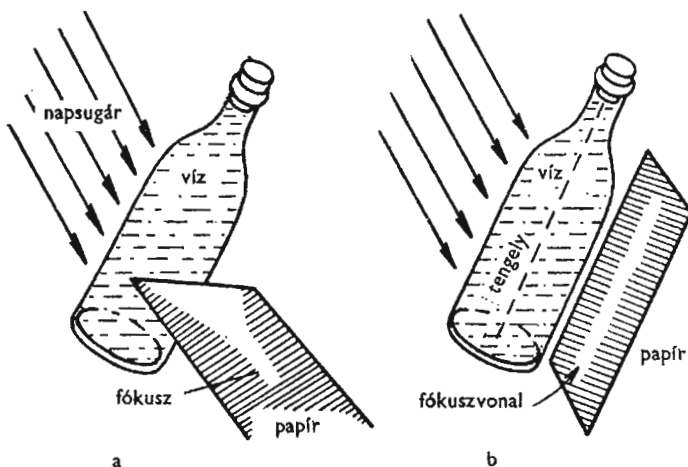
3. A lepkék szárnyának pompás kék és zöld ragyogása ugyanígy keletkezik. A szárnyon levő hímorszemecskékben párhuzamos fallal határolt üregek vannak. Az üregekben a levegőréteg vastagsága pontosan akkora, hogy a vörös vagy a sárga színű fény visszaverődésor kioltja egymást. Ezért a megmaradt színek keveréke a zöld, illetve kék ragyogást adja.

Nagyítólencse, nagyítás, képalkotás

Egy üveg víz mint gyűjtőlencse

Kísérlet. Töltsünk meg egy átlátszó literes üveget vízzel, és úgy tartsuk a napfény útjába, hogy a fénysugarak merőlegesen essenek az üveg felületére.

a) Tartsunk az üveg oldalához egy papírlapot (álljon párhuzamosan a palack alapjával) — kitűnően látható, hogy az üvegen áthaladó fénynyaláb egy pontban egyesül (201a ábra). Ez a fókuszpont kb. olyan messze van az üveg oldalától, mint a palack átmérőjének fele,



201. A vízzel telt hengeres palack összegyűjti a rászó napsugarakat. — A gyűjtőpont, a fókuszt, a hengeres edény tengelyétől olyan messze van, mint amekkora a henger átmérője

ezért a fókusz a hengeres edény közepétől olyan messzire van, mint az edény átmérője.

b) Tartsuk a papírlapot a palack oldalával párhuzamos állásban az üveg mögé (201b ábra). Kevés próbálgatással megtaláljuk azt a helyet, ahol a papíron egy hosszú keskeny vonalban egyesülnek a nap-sugarak. Ha ezt a fényes vonalat (a fókuszvonal) a kezünkre ejtjük, felmelegedést érzünk.

Gondolkozzunk: vetítőgépekben a forró fényforrás és a film közé lapos falú üvegedényben vizet szoktak tenni, hogy a víz elnyelje a hősugarakat, és a hő ne ártson a vetített filmnek. Hogyan lehet akkor az, hogy kísérletünkben a víz nem nyelte el a hősugarakat, hiszen a palack mögött a fókuszvonalban meleget érzünk. — Nem lehetne-e a hősugarakat teljesen elnyelezni úgy, hogy csak a fénysugarak jussanak keresztül az átlátszó rétegen?

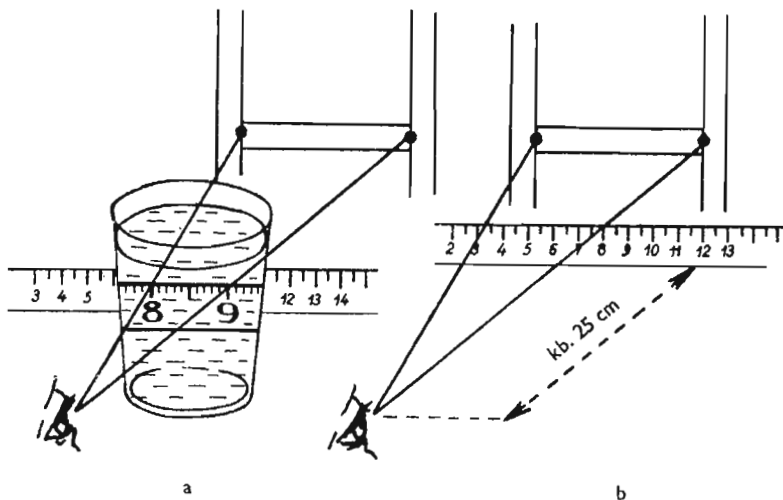
Felelet: a napfényben (és az izzó fényforrások sugárzásában) láthatatlan hosszú hőhullámok és a szemünkre is ható, rövidebb fényhullámok vannak. A víz a szemünkre nem ható hosszú hőhullámokat elnyeli, de a látható fényt áttereszti. — A látható fényben is energia terjed. Tehát ha a látható fény a fényes fókuszvonalban egyesül, ez annyit jelent, hogy energia egyesül kis felületen. Kezünk elnyeli ennek az energiának (fénynek) legnagyobb részét — felmelegszik.

Az előbbieket szerint lehetetlen olyan átlátszó anyagot találni, amelyen az áthaladó fénysugárnak ne maradna meg a melegítő hatása.

Egy pohár víz mint nagyítólencse

1. Kísérlet. A vízzel telt átlátszó hengeres poharat tegyük egészen közel szemünkhöz, a pohár mögé pedig tartsunk valami tárgyat (például ceruzát, nyomtatott szöveget). A tárgyat nagyítva látjuk (202. ábra).

2. Kísérlet: hányszorosan nagyít a pohár víz? Feltétlenül végezzük el ezt a mérést, mert ennek alapján bármilyen más eszköz (nagyító, messzelátó) nagyítását meg tudjuk mérni. A kellékek mindenkinek rendelkezésére állnak a háztartásban.



202. Így mérhetjük meg vizespohár nagyítónk nagyítását

A tanulságos és egyszerű mérés így történik: forduljunk háttal az ablaknak, és a vízzel telt poharat most is közvetlenül szemünk elé tartjuk, a pohár háta mögé pedig egy centiméterskálát tartunk úgy, hogy a legerősebben nagyítva lássuk (202a ábra).

A nagyított beosztás mögötti szobarárszen bizonyára lesz valami ajtó, kép vagy szekrény, amelynek segítségével megállapíthatjuk, hogy — mondjuk 1 cm — mekkora részt fed el (például a fél ajtószélességet). — Mindkét szemünkkel kell nézni, hogy lássuk a nagyított beosztást is meg a háttérrel is. Ezután a centiméterskálát nagyítás nélkül, szabadon tartjuk szemünk elé a tisztalátás távolságában (25-30 cm) úgy, hogy látszólag fedje az előbb megállapított hosszúságot (például a fél ajtószélességet), és megszámláljuk, hogy hány nagyítatlan beosztás esik erre a hosszúságra (például 5 cm, 202b ábra). — Ekkora a nagyítás (példánkban 5-szörös).

3. Kísérlet: előre kiszámíthatjuk a nagyítást, ha ismerjük a hengeres edény átmérőjét.

Ezenkívül még azt kell tudnunk, hogy amikor olvasunk, hány

centiméternyire van a betű a szemünktől (a tisztalátás távolsága). Normális szem esetén ez 25-30 cm szokott lenni.

a nagyítás = $\frac{\text{a tisztalátás távolsága}}{\text{az edény átmérője}}$, és az eredményhez még adjunk hozzá 1-et.

Tehát a 6 cm átmérőjű vízzel telt pohár és normális (25 cm) szem esetén $25:6 \approx 4$, hozzáadva 1-et,

a nagyítás 5-szörös.

Minél kisebb átmérőjű a pohár (minél domborúbb hengeres lencsét alkot), annál nagyobb a nagyítása.

Például: egy 4,5 cm átmérőjű likőröspohár esetén a következő eredményt adta a számítás és mérés:

A számítás: ha a tisztalátás távolsága 25 cm, akkor $25:4,5 \approx 5,5$, hozzáadva 1-et,

a számított nagyítás 6,5-szeres.

A mérés: megállapítottuk, hogy a megnagyított centiméterskála 1 cm-re a falon milyen hosszúságot fed el. — Azután a szemtől 25 cm-re tartottuk a szabadon nézett mércét, és azt találtuk, hogy az előbbi távolságon 5 cm látszott,

a mért nagyítás 5-szörös.

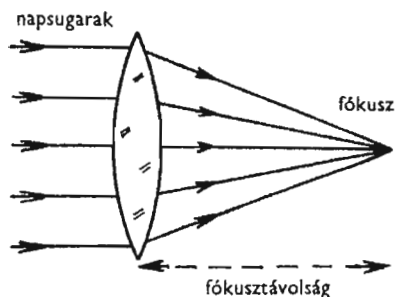
Egy másik esetben egy 16 mm átmérőjű, vízzel telt kémcső a beosztást 16-szorosan nagyította meg, a számítás pedig 16,6-szeres nagyítást adott.

Tessék megpróbálni! Bámulatosan jó eredményeket kapunk.

Hány dioptriás a szemüvegünk?

Érdemes megőrizni a feleslegessé vált szemüveglencséket és egyéb lencséket. — A lencsékre nincs ráírva fókusz-távolságuk, a szemüveglencséken nincs jelezve, hogy hány dioptriásak.

Kísérlet: a lencse fókusz-távolságának meghatározása. Egy fehér papírlapra gyűjtsük össze lencsével a napsugarat. A papírt addig távolítjuk, közelítjük, amíg az összegyűjtött fény a legkisebb fényes kör felületén egyesül. Itt van a lencse fókusza (gyújtópontja). Ennek



203. Ha megmérjük a lencse fókusz távolságát, kiszámíthatjuk, hogy hány dioptriás a lencse

a helynek a távolságát a lencsétől mérjük meg centiméterrel (203. ábra).

Minél **laposabb** a lencse, annál nagyobb a fókusz távolsága.

Minél **domborúbb** a lencse, annál kisebb a fókusz távolsága.

Szemüveg esetén azt szokás megadni, hogy hány dioptriás a lencse.

A lencse dioptriaszámát úgy kapjuk meg, hogy 100-at elosztjuk a centiméterben mért fókusz távolsággal.

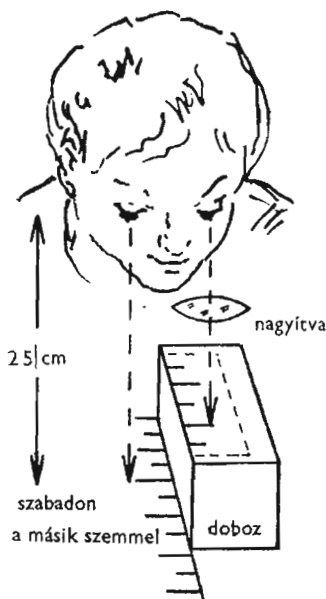
Például a 20 cm fókusz távolságú lencse $100:20 = 5$ dioptriás, a 150 cm fókusz távolságú pedig $100:150 = 2/3$ dioptriás.

Az egyszerű nagyító nagyításának mérése

1. Kísérlettel. Kockás füzetlapból vagy pedig milliméterpapírból messünk ki két csíkot. Az egyiket tegyük le az asztallapra, a másikat pedig az ábra szerint kb. 20 cm magasra, egy dobozra vagy más alkalmas tárgyra. Ez a papírlap olyan magasan legyen, hogy ha a bal szemünk elé tett nagyítón át nézzük, akkor szemünk 25 cm távolságban legyen az asztallapra tett papírtól (204. ábra).

Bal szemünkkel a beosztás nagyított képét látjuk, jobb szemünkkel pedig az asztallapon levő nagyítatlan beosztást. Egy kis próbálgatással elérhetjük, hogy a nagyított beosztás képe ráessék a nagyítatlanra. Ekkor könnyen leolvashatjuk, hogy egy nagyított beosztás hány nagyítatlant fed szélességben.

Hogy könnyebben megállapíthassuk a nagyítatlan beosztások



204. Mindkét szemünkkel nézünk. Egyik szemünkkel a nagyított beosztást látjuk, a másikkal pedig szabadon látjuk a tisztalítás távolságában levő másik beosztást. A nagyítót tartjuk közel szemünkhöz.

menyiségét, célszerű az asztallapra tett beosztáson egyes vonalakat ceruzával megvastagítani.

Felhívjuk a figyelmet az egyszerű nagyító helyes tartására. A legtöbb ember helytelenül használja a nagyítót, mert a tárgy fölé teszi, maga pedig messziről néz át a lencsén.

A nagyító helyes tartása az, hogy közvetlenül szemünk elé helyezzük, és így nézünk a nagyítandó tárgyra.

Közönségesen használt, egyszerű nagyítóink 2—10-szeresen nagyítanak. Nagyobb nagyításra már összetett lencserendszert: mikroszkópot használunk.

Amikor még nem ismerték a mikroszkópot, igen nagy nagyítású egyszerű lencsákat készítettek.

2. Számítással. Ha ismerjük a lencse fókusz távolságát, akkor kísérlet nélkül is megmondhatjuk, hogy hányszorosan nagyít. A számítás ugyanaz, amit a vizesüveg esetén megismertünk:

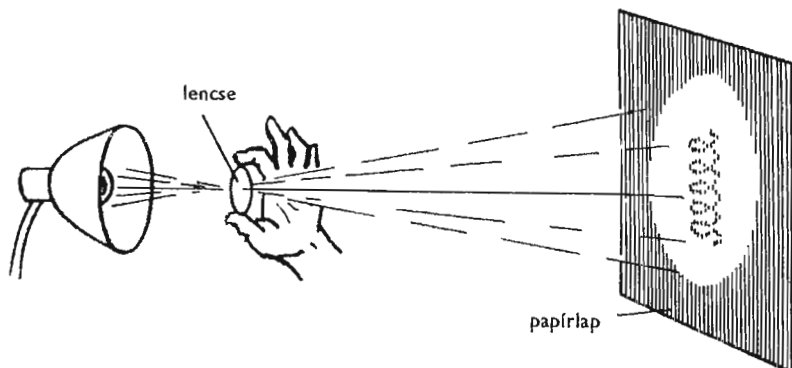
$$\text{nagyítás} = \frac{\text{tisztalítás távolsága (25 cm)}}{\text{a lencse fókusz távolsága}} + 1 \text{ cm.}$$

Igen érdekes szórakozás ugyanannak a lencsének nagyítását kísérlettel is, számítással is megállapítani. — Mennyire egyeznek az eredmények? — Vagy egy kézi nagyító (lencse) nagyítását ellenőrizni, egyezik-e a mért eredmény a gyár által megadott értékkel?

Képvetítés domború lencsével

Fénytani eszközeinkben (fényképezőgép, vetítőgép, messzelátók stb.) mindenütt találkozunk lencsékkel. A lencsétet leggyakrabban képalkotásra használjuk fel. — Sok hasznos tapasztalatot nyújtanak a következő egyszerű kísérletek.

1. Kísérlet: egyszerű szemüveglencsével. Egy domború (gyűjtő) szemüveglencsét tartunk úgy az égő villanykörte közelébe, hogy az izzószál távolabb legyen a lencsétől, mint amekkora a lencse fókusz-távolsága, de közelebb legyen a lencséhez, mint amekkora a lencse kétszeres fókusz-távolsága. Akkor a lencse másik oldalán, egy fehér papírlapon felfoghatjuk az izzószál nagyított képét (205. ábra).



205. Az asztali villanylámpa izzószálának képét gyűjtőlencsével fehér papírra vetítjük

Olyan égőt használunk, melynek izzószála csavart szálú, mert ekkor a kép jóságát könnyen megítélhetjük abból, hogy milyen tisztán látszanak a csavarulatok.

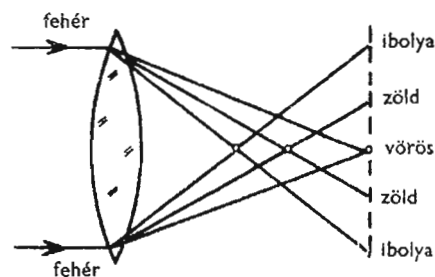
Szemüveglencsével nem sikerül olyan tiszta képet vetíteni, hogy az izzószál csavarulatai láthatók legyenek. **A legegyszerűbb lencse tehát olyan rossz képet alkot, hogy képalkotásra szóba sem jöhet.**

2. Kísérlet: oldalvást beeső sugarak torz képet adnak. Amikor már az izzószál lehető legtisztább képét előállítottuk, kissé fordítsuk oldalt

a lencsét. A kép feltűnően eltorzul, már kis elforduláskor is. — Ezért nem tiszta azoknak a személyeknek a fényképe, akik csoportfelvételeken a kép széle felé vannak — ha a fényképezőgép lencséje nem kiváló minőségű.

3. Kísérlet: a kép színeződése. Ha keretes nagyítóval vagy más egyszerű lencsével tisztábban ki is tudjuk vetíteni az izzószál képét, a határolóvonalak akkor is színesek. A színeződést fokozhatjuk úgy, hogy a papírlapot kissé előre-hátra mozgatjuk abból a helyzetből, amelyben legtisztábban látszik a kép. Ha a lencse felé mozgatjuk, akkor a kép körvonalai piros színűek, ha távolabbra mozgatjuk, akkor pedig lila színűek.

Magyarázat: miért nem tiszta a kép? — Miért színes a széle? A lencsén áthaladó fény megtörik (206. ábra). Töréskor pedig mindig színeire bomlik a színtelen fény. — A lencse csak akkor alkothatja tiszta (éles) képet, ha a tárgy egy pontjából kiinduló sugarakat a lencse a képen szigorúan egy pontban egyesítené. De ez már a színekre bomlás miatt sem lehetséges.



206. A színeltérés. A lencse különböző mértékben töri a különböző színű sugarakat. Ezért a sugarak nem egy pontban egyesülnek

Nézzük a 206. ábrát. A lencsére fehér fény esik a tárgyról. De a lencsén áthaladó fény nemcsak megtörik, hanem színeire is bomlik. A leghosszabb hullámhosszú fény, a vörös szín törik meg legkevésbé, az ibolya a legjobban. Ennek következménye az, hogy a lencse nem egyesíti egy pontban a tárgy egy pontjáról jövő sugarakat. Az ábrán látjuk, hogy a jobban megtört ibolyaszínű sugarak előbb egyesülnek, mint a vörös színű sugarak. Bárhová állítjuk is a képet felfogó papírlapot, nem egy fénylő pontot nyerünk, hanem egy fénylő kört, amely

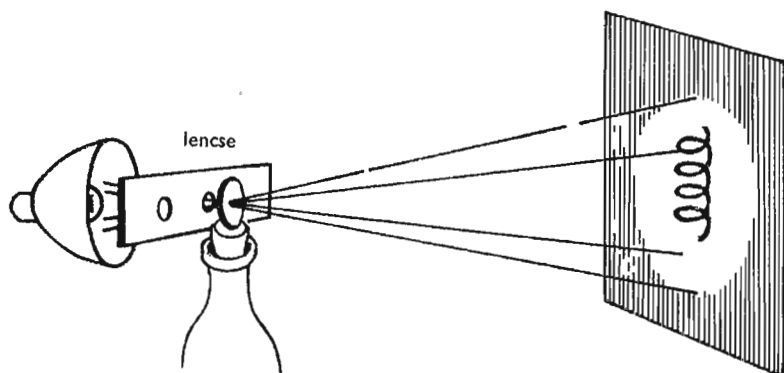
nek a széle színes. A színezés nagy hibája a lencséknek. Annál rosszabb a lencse, minél jobban színez. A ferdén áthaladó sugarakat pedig még akkor sem tudná az egyszerű lencse egy pontban egyesíteni, ha nem volna színekre bomlás.

Szűkebb lencsenyílás — tisztább kép

Kísérlet. A lencsét, amivel a képet előállítjuk, foglaljuk állványba (például a 207. ábra szerint egy palack dugójába vágott résbe szorítsuk bele). — Vetítsük az izzószál képét egy papírlapra vagy a falra.

Átlátszatlan papírlapba vágjunk több kör alakú nyílást (kisebbit, majd egyre nagyobbakat). — Tartsuk ezt a papírlapot közvetlenül a lencse elé úgy, hogy csak a nyíláson át eshessen a fény a lencsére.

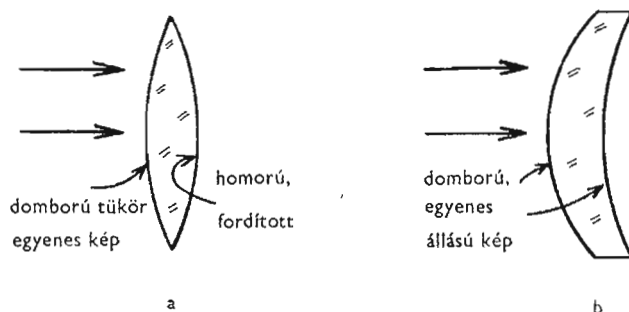
Figyeljük meg, hogy milyen tiszta a kép, miközben a különböző nagyságú lyukakat tartjuk a lencse elé.



207. Minél kisebb a lencsenyílás, annál tisztább a kép

Azt látjuk, hogy **minél kisebb a nyílás, annál tisztább a kép** (de fényben annál szegényebb). — Ezért szűkítik le a fényképezők a gép lencséje előtti nyílást akkor, ha különösen éles képet akarnak készíteni. De hogy a kisebb nyíláson át mégis elegendő fény jusson a fényérzékeny rétegre, hosszabb ideig kell engedni a fényt hatni (exponálni).

Kísérlet. Álljunk a szoba belsejébe, és úgy tartsunk kezünkben egy üveglencsét (mindegy, hogy nagyítólencse-e vagy kicsinyítő), hogy benne mint tükörben lássuk az ablakot és az ablakon kívüli tájat. Azután fordítsuk meg a lencsét, és most meg a másik oldalát használjuk tükröként.



208. A lencsefelületek domború, illetve homorú tükrök. Ezért két képet látunk minden lencsében, ha ránézünk a lencsefelületre

Igen érdekes megfigyeléseket tehetünk.

a) Minden lencsében két képet látunk. — Ez természetes, mert a lencsének két határfelülete van, mindkettőről mint görbe felületű tükrőről, visszaverődik a fény.

b) Mindegyik kép kicsinyített, és még nagyítólencsék esetén is vagy az egyik kép fordított állású, a másik pedig egyenesen áll, vagy mind a kettő egyenes állású, vagy mind a kettő fordított állású.

Az egyenes állású kép a lencse domború felületén mint domború tükrökben keletkezik. — A fordított állású kép pedig a homorú felületen mint homorú tükrökben (208a ábra).

A jobb szemüveglencsék olyan alakúak, mint a 208b ábrán látható. Ha domború felét fordítjuk az ablak felé, akkor két domború felületen tükröződő képet látunk (mindkettő egyenes állású, kicsinyített). — Ha pedig a lencse másik oldalát használjuk mint tükröt, akkor két

fordított állású, kicsinyített képet látunk (mert most homorú tükör alkotja a távoli tárgy képét).

Anélkül, hogy a lencsüket megtapogatnánk, ezeknek a tükörképeknek a segítségével meg lehet mondani, hogy milyen felületek határolják a lencse felszínét, sőt még azt is, hogy a felületek domborulata mekkora mértékben tér el egymástól a lencse két oldalán (eszerint változik a látott képek nagysága is: **ha nagyobb a kép, akkor kisebb mértékű a domborulat**).

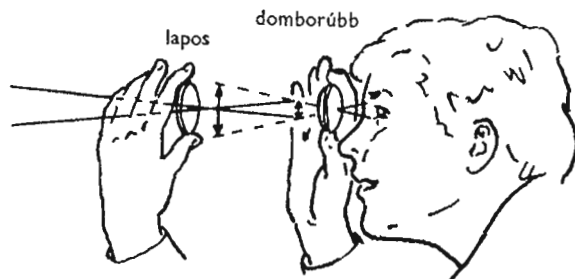
Ilyen egyszerű a messzelátó

Ha bármikor két lencse kerül a kezünkbe, amelyek közül legalább az egyik gyűjtőlencse, azonnal próbáljuk meg messzelátóként alkalmazni.

1. Kísérlet: messzelátó két gyűjtőlencsével. A nagyobb fókusz távolságú (laposabb) lencsét egyik kezünkkel távolabb tartjuk szemünktől, a másik (domborúbb) lencsét pedig közvetlenül szemünk elé helyezük, és így nézünk át egyszerre a két lencsén valami távolibb tárgy felé (209. ábra).

A távolabb tartott lencsét lassan közelítjük, távolítjuk, amíg tiszta képet nem látunk. A kép **fordítva** jelenik meg.

Magyarázat: a távolabb tartott lencse a messze levő tárgyról valódi, azaz a papírlapon felfogható kicsinyített képet alkot, ezt látjuk megnagyítva a szemünk előtt levő lencsén át.



209. Egy laposabb (nagyobb gyűjtőtávolságú) és egy domborúbb (kisebb gyűjtőtávolságú) lencsét mint messzelátót használhatunk

Értékes megfigyelések az egyszerű lencséből összeállított messzelátóval:

a) A látott kép igen gyenge minőségű. Ha a közepe éles, akkor a szélek életlenek. Ha a széleket állítjuk be, akkor a középső rész elmosódott.

b) A tárgyak egyenes vonalai a kép széle felé elgörbülnek.

c) A tárgyak körvonalait piros és kék színű sáv szegélyezi, különösen akkor, ha napsütötte tárgyat nézünk, vagy háztetőt, kéményt, amely mögött a fénylő ég látszik.

Ezeket a hibákat összes kísérleteinkben láthatjuk, ha ilyen egyszerű lencsékkel és egyszerű összeállításokkal dolgozunk. De mégis nagyon tanulságosak és értékesek ezek a kísérletek és tapasztalatok, mert ha igazi messzelátóba, mikroszkópba nézhetünk bele, tudjuk majd, hogy a látott képen milyen hibákat kell keresnünk (életlenség a szélek felé, egyenes vonalak eltorzulása, színeződés). Minél kevésbé jelentkeznek ezek a hibák, annál tökéletesebb, értékesebb az eszköz (annál drágább is).

2. Kísérlet: messzelátó egy gyűjtőlencsével és egy homorú lencsével. A gyűjtőlencsét most is távolabb tartjuk szemünktől, a homorú lencsét pedig közvetlenül szemünk elé tartjuk. — Némi próbálgatás után a messzebb levő tárgyak egyenes állású, nagyított képét sikerül megpillantani a két lencsén keresztül.

Az úgynevezett színházi messzelátókban (nagyításuk 2-4-szeres) egy gyűjtőlencse és egy homorú lencse van.

A messzelátó nagyítása

Egyszerű eszközeinket még arra is felhasználhatjuk, hogy a nagyításukat meghatározzuk. Ezt az eljárást bármilyen más, gyári készítésű messzelátó esetén is alkalmazhatjuk; pillanatok alatt minden segédeszköz nélkül megmondhatjuk a messzelátó nagyítását.

1. módszer. — **Kísérlet.** Nézzünk a messzelátón át lécs-, vaskerítést vagy cserepes háztetőt. De csak egyik szemünkkel nézzünk a messzelátó egyik csövén át. A másik szemünkkel szabadon nézzük például

a tetőt, és megszámláljuk, hogy egy, a messzelátón át látott cserép képe hányszor szélesebb, mint a szabad szemmel nézett cserépé. Ez a szám mutatja a messzelátó nagyítását. (Gyors és közelítő meghatározáshoz az is elegendő, ha megállapítjuk, hogy például egy — a messzelátón át nézett — ablak szélessége hányszor akkora, mint a szabad szemmel látotté. A messzelátó csekély elmozdításával elérhető, hogy a két kép egymásra essék, így könnyű az összehasonlítás.)

2. módszer. — **A lencsék fókusz távolságaiból.** A napsugár összegyűjtésével megmérjük a messzelátó készítésére használt lencséink fókusz távolságait.

Legyen például az egyik lencse fókusz távolsága $f_1 = 40$ cm, a másiké pedig $f_2 = 10$ cm, akkor ha messzelátót készítünk belőlük,

$$\text{a nagyítás} = \frac{\text{tárgylencse fókusz távolsága}}{\text{szemlencse fókusz távolsága}} = \frac{f_1}{f_2}.$$

$$\text{Esetünkben} \quad \text{a nagyítás} = \frac{40}{10} = 4\text{-szeres.}$$

Megjegyezzük, hogy amikor a fénytani eszköz nagyításáról beszélünk, mindig a **vonalas** nagyítást értjük, vagyis azt, hogy egy egyenes vonalat hányszoros hosszúságra nagyít.

Milyen lencsét kell használni, ha nagy nagyítást akarunk elérni?

Képletünkéből azonnal látható, hogy **a messzelátó nagyítása annál nagyobb, minél hosszabb a tárgylencse gyújtótávolsága és minél rövidebb a szemlencse gyújtótávolsága** (annál jobban megnagyítja a tárgylencse által alkotott képet).

Egyúttal az is nyilvánvaló, hogy ha ugyanahhoz a tárgylencséhez különböző gyújtótávolságú szemlencsét használunk, akkor különböző nagyításokat érhetünk el. Például, ha valaki beszerez egy 5 cm átmérőjű és 50 cm gyújtótávolságú nagyító lencsét, akkor ha a szemlencse gyújtótávolsága 2 cm, a nagyítás $50 : 2 = 25$ -szörös, ha a szemlencse gyújtótávolsága 10 cm, a nagyítás $50 : 10 = 5$ -szörös. Azt gondolhatnánk, hogy ha 0,5 cm gyújtótávolságú szemlencsét használnánk, $50 : 0,5 = 100$ -szoros nagyítású messzelátót készíthetnénk.

Nem lenne érdemes, mert a nagyítás fokozásakor egyre inkább kiütköznének a lencsehibák, romlana a kép.

Mekkora nagyítású messzelátó készítésére alkalmas egy lencse?
Érdemes jól megjegyezni: még a legtökéletesebb (és nagyon drága) lencsével is legfeljebb akkora nagyítást érdemes előidézni, amekkora a tárgylencse átmérője milliméterben kifejezve.

Tehát egy 5 cm = 50 mm átmérőjű lencsével legfeljebb 50-szeres nagyítású messzelátó készíthető.

A világ legnagyobb lencsés messzelátójának tárgylencséje 1 m (pontosan 102 cm) átmérőjű, és 1917-ben készült el. Mivel 1 m = 1000 mm, azért ezt a messzelátót legfeljebb ezerszeres nagyításig érdemes használni.

Milyen fényerejű a messzelátó?

A messzelátók használatakor nemcsak az a fontos, hogy mennyire nagyít a messzelátó, hanem az is, hogy a látott kép milyen világos, milyen fényes. Ezt is érdemes kísérletben megvizsgálni.

Kísérlet. Irányozzuk a messzelátót valamely tárgyra. Egyik szemünkkel nézzünk a messzelátón át, a másik szemünkkel pedig nézzük szabadon a tárgyat. Így nagyon könnyű összehasonlítani a messzelátón át látott és szabad szemmel nézett tárgyak fényességét. Ha kísérletünkben színházi messzelátót használunk (nagyítás 2,5-3,5-szeres), akkor a messzelátón át fényesebbnek látjuk a tárgyat, mint szabad szemmel. A színházi messzelátók tárgylencséje aránylag nagy átmérőjű, ezért a nagy lencse sokkal több fényt gyűjt össze, mint a szem. De ha prizmás (turista, katonai) messzelátón át nézünk, előfordulhat, hogy a látott kép gyengébb fényű, mint szabad szemmel. Ez akkor következik be, ha a messzelátó nagyításával nem tart lépést a tárgylencse átmérőjének növekedése.

Mekkora lencseátmérő szükséges a jó fényerőhöz? Mérjük meg a messzelátó tárgylencséjének átmérőjét milliméterben, és osszuk el ezt a számot a messzelátó nagyításával. Például egy prizmás messzelátó tárgylencséjének átmérője 30 mm, nagyítása pedig 6-szoros (ez vagy

rá van írva, vagy meghatározzuk kísérlettel). Végezzük el az osztást, $30 : 6 = 5$. Ha eredményül 5-öt vagy még nagyobb számot kapunk, akkor a távcső fényereje kitűnő, és gyenge világításkor (alkonyat, színház) fényesebbnek látjuk vele a tárgyat, mint szabad szemmel.

A jobb messzelátókra ráírják a nagyítást és a tárgylencse átmérőjét. Például a 7×50 jelzés annyit jelent, hogy a messzelátó nagyítása 7-szeres, tárgylencséjének átmérője pedig 50 mm. — Mivel $50 : 7 =$ $=$ kb. 7, azért ennek a messzelátónak nagyon jó a fényereje. De van olyan messzelátó is, amelynek jelzése 15×60 . Igaz, hogy ez a messzelátó 15-szörösen nagyít, de a fényereje csak $60 : 15 = 4$.

A homorú lencse fókusz távolságának mérése

Legelterjedtebb a színházi messzelátó, ennek homorú a szemlencséje (szórólencse, kicsinyítő lencse). Ez nem gyűjti össze a napsugarakat, hanem szétszórja őket, tehát fókusz távolságát nem határozhatjuk meg úgy, mint a gyűjtőlencsét. Pedig ismernünk kell a homorú lencse gyűjtőtávolságát is, ha számítással akarjuk meghatározni a színházi messzelátó nagyítását. Így mérhetjük meg a szórólencse fókusz távolságát:

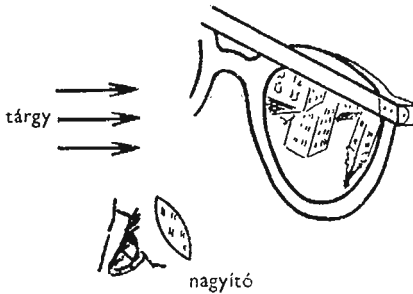
Kísérlet. A lencsére napsugarat ejtünk. A lencse szétszórja a napsugarakat. A szétszórta sugarak útjába tartott papírlapon egy fényes kör jelenik meg, amelynek átmérője nagyobb, mint a lencse átmérője.

Tartsuk a papírt olyan messzire a lencsétől, hogy a **fényes kör átmérője kétszer akkora legyen, mint a lencse átmérője**. Ekkor a papírlapnak a lencsétől mért távolsága a lencse fókusz távolsága.

Célszerű a lencse átmérőjével mint sugárral előre kört rajzolni a papírlapra, ezt kell befedni a szétszórta sugaraknak. — A lencsefoglalatra pedig húzzunk egy másik papírlapot, hogy ez elfogja a napsugarakat, és ennek árnyékában jól láthatóan jelenjék meg a szétszórta sugarak által megvilágított kör.

Tükrös messzelátó szemüvegből

Egy előző kísérletben említettük, hogy a szemüveglencse homorú oldalán, mint egy homorú tükörben, az ablak és a **külvilág kicsinyített, valódi képét látjuk.**



210. Így készíthetünk tükrös messzelátó szemüvegből és egy nagyítólenccséből

Kísérlet. Szemünk elé helyezett kis gyújtótávolságú (néhányszörös nagyítású) nagyítón át szemléljük a szemüveg homorú oldalán látható képet, kissé oldalról (210. ábra). A két lencse távolságának változtatásával egyszer csak tisztán látjuk a nagyított képet. — Mivel a homorú tükörben megjelenő valódi kép fordított, ezért fordított, nagyított képet szolgáltat tükrös messzelátónk.

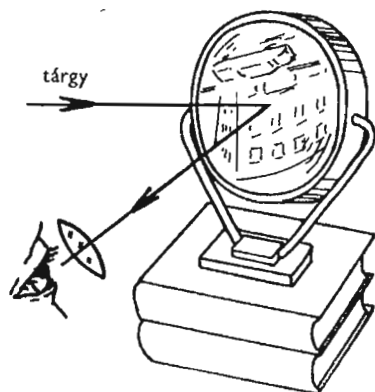
A kép meglepően tiszta és torzításmentes az egyszerű lencséből álló messzelátónkon át látható képhez képest.

Tükrös messzelátó borotválkozótükörből és gyújtőlencséből

A lábra állítható, úgynevezett borotválkozótükörnek két oldala van. Az egyik oldala egy szokásos sík felületű tükör, a másik pedig homorú felületű gömbtükör. Ha közel tartjuk arcunkhoz a homorú tükröt, akkor arcunkat nagyítva látjuk benne. — A távoli tárgyak pedig fordítva és kicsinyítve látszanak benne.

1. Kísérlet. Előlről, de kissé oldalról nézzünk a homorú borotválkozótükörbe olyan messziről (50-60 cm), hogy az ablakon kívüli világ képe fordítva jelenjék meg benne. Ezután vegyünk kézbe egy

211. Tükrös messzelátó borotválkozótükörből és egy kis nagyítású gyűjtőlencséből



3-5-szörösen nagyító lencsét, tegyük szemünk elé, és közeledjünk mindaddig a tükörhöz, amíg nagyítva és tisztán nem jelennek meg a távoli tárgyak (211. ábra). (Borotválkozótükörrel és egy 4-szeres nagyítóval ily módon a távoli tárgyakat 5-szörösen sikerült megnagyítanom).

Ha borotválkozótükörrel állítunk elő tükrös messzelátót, akkor a következő feltűnő különbségeket vesszük észre az előző (szemüveget felhasználó) kísérlethez képest.

a) A kép sokkal fényesebb. — Ez természetes, mert most a borotválkozótükör fémes oldaláról visszaverődött, nagyobb mennyiségű fény alkot képet, továbbá a tükör felülete nagyobb.

b) A borotválkozótükör által alkotott kép sokkal torzabb, mint szemüveglencse esetén. — Ugyanis a szemüveglencse felületét sokkal gondosabban csiszolják gömbfelületűre, mint az olcsó és a célnak úgy is megfelelő borotválkozótükört.

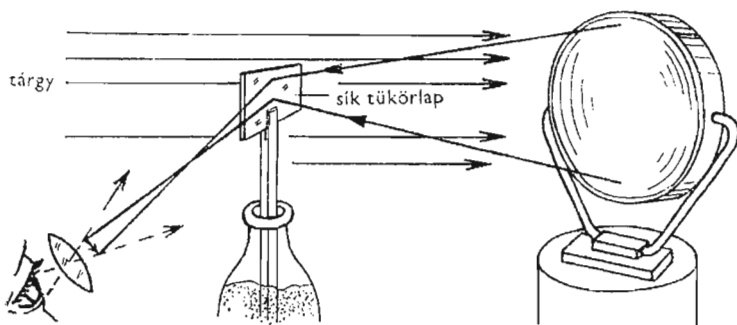
A kép torzulását nagyon fokozza az, hogy a homorú tükörrel kissé oldalt kell vetíteni a képet, hogy nagyítónkkal nézhessük. — Azt pedig már tapasztaltuk kísérleteinkben, hogy még a lencse is feltűnően torzítja a képet, ha oldalról esnek rá a tárgyról érkező fénysugarak. Szembe nem állhatunk a tükörrel, hogy nézzük az általa alkotott képet, mert akkor fejünkkel elfognánk a tárgyról jövő fénysugarakat. Ezen a nehézségen a következő kísérletben segíthetünk.

Egy igazi tükrös távcső

Kísérlet. A homorú borotválkozótükröt tegyük fel alkalmas talapzatra (üres konzervdobozra), és nézzen a nyitott ablak felé. — Egy radírgumi nagyságú tükördarabkát szorítsunk behasított fapálcika nyílásába, a pálcikát pedig dugjuk homokkal telt üvegbe, hogy a síktükröt könnyen tudjuk feljebb-alább tolni (212. ábra).

A síktükröt állítsuk a borotválkozótükrő közepének magasságában a borotválkozótükrő elé, és fordítsuk kissé oldalt, hogy oldalról nézhessünk a síktükrőre, és így a síktükrőről szemünkbe verődjék vissza a homorú tükrő által alkotott kép.

A kezünkben tartott 3-5-szörös nagyítón át nézzük a síktükrőben látható képet (212. ábra).

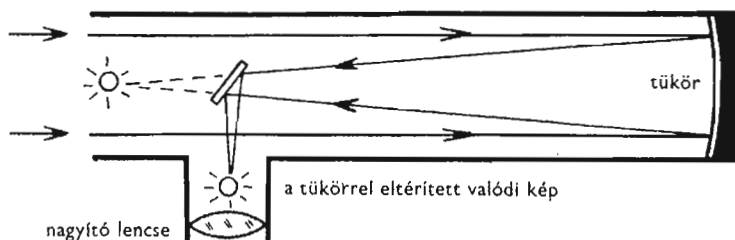


212. A homorú tükrő tengelyébe állított sík tükörlappal oldala terelhetjük a fénysugarakat, így módon kényelmesebben használhatjuk a nagyítólencsét

Ilyen a szerkezete az úgynevezett Newton-féle tükrös messzelátónak (213. ábra).

Ha más-más nagyítású lencsét használunk, akkor más-más nagyítású képet látunk.

Tükrös messzelátós kísérleteink mindegyikében észrevehettünk egy rendkívül fontos tényt: a nagyított kép nem színes szegélyű (vagy



213. A csillagvizsgálók tükrös távcsövének szerkezete

csak alig észrevehető mértékben). — Míg a lencsés összeállításokban feltűnően színes — homályos volt a kép.

Kísérleteink is bizonyítják, hogy tiszta képet alkotó **tükrös messzelátót** könnyebb készíteni, mint lencsékből állót. Ennek oka az, hogy a lencséken áthatoló, megtört fény egyre inkább színeire bomlik, **a tükrös messzelátóban ellenben a tükörről visszaverődő fény a visszaverődéskor nem bomlik színekre.**

A tudományos megfigyelések nagy részben tükrös messzelátókkal történnek.

A világ legnagyobb messzelátója is tükrös (az amerikai Palomár-hegyen, a messzelátó részére épült csillagvizsgálóban). Tükrének átmérője 5 m, és magának a tükörnek a súlya 20 000 kg. A mondottak alapján kiszámítható (5 m = 5000 mm), hogy a messzelátót 5000-szeres nagyításig volna érdemes használni. A légkör zavaró hatása miatt azonban 3000-szeresnél nagyobb nagyítást nem lehet alkalmazni.

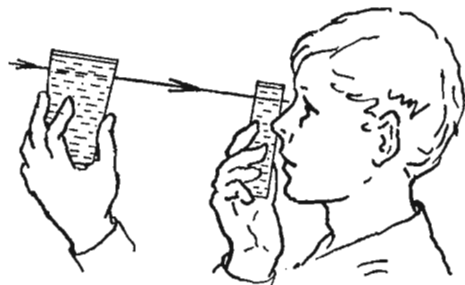
Gondolkozzunk: a palomári messzelátó tükrének fókusztávolsága 16,75 m. — Hányszoros nagyítású szemlencsét kell alkalmaznunk, ha 5000-szeres nagyítást akarunk elérni a távcsövel? A tükrös távcső nagyítását éppen úgy kell kiszámítani, mint a lencsés távcsőét.

Felelet: a szemlencse fókusztávolságának akkorának kell lennie, hogy ha vele a 16 750 mm-t elosztjuk, eredményül 5000-et nyerjünk. — Ezért a szemlencse fókusztávolsága 3,35 mm. — Ennek saját nagyítása kerekén 250 mm : 3,35 \approx 75-szörös. (Lásd a 250. oldalon a nagyító nagyításának számítását.)

Érdemes megpróbálni — vizespohárból messzelátó

Ezt a kísérletet pillanatok alatt elvégezhetjük, és valóban messzelátón át nézünk; a távoli tárgyakat nagyítva látjuk, és kísérlettel is, számítással is megállapíthatjuk messzelátónk nagyítását. — Üveg-lencse nem minden háztartásban található, de vizespohár igen.

Kísérlet. Egy henger alakú, átlátszó üvegpoharat töltünk meg tiszta vízzel, és egyik kezünkbe fogva tartjuk tőlünk kissé távol. — A másik kezünkbe pedig fogjunk egy vízzel tele hengeres likőröspoharat (vagy próbacsövet, orvosságos fiolát). Ezt tartjuk közvetlenül szemünk elé (214. ábra).



214. Vízzel telt üvegpohárból és üvegcsőből is állíthatunk összet messzelátót

Nézzünk a két vízzel telt üvegen keresztül a távoli tárgyak felé, közben a nagyobb poharat közelítsük, távolítsuk, míg tiszta képet nem látunk.

A kép **egyenes állású** lesz, csak szélességben megnagyítva és hatalmasan eltorzítva. A valósághoz képest a képen a jobb és bal oldal fel van cserélve. A kép feltűnően erősen színeződött (vörös és kék) körvonalakkal jelenik meg.

A kép nagyítását könnyű kiszámítani; a nagy pohár átmérőjét elosztjuk a szemünk előtt levő hengeres edény átmérőjével.

Egyik kísérletben 6 cm átmérőjű poharat és 1,6 cm átmérőjű próbacsövet használtam.

A számított nagyítás 3,75-szoros,
a kísérletileg mért nagyítás pedig 4-szeres volt.

1. Kísérlet: a kétféle nagyított kép. Tartsuk a nagyító-lencsét a nyomtatott szöveg fölé, közel hozzá (a betűk legyenek közelebb a lencséhez, mint a lencse fókusz-távolsága, tehát legyenek a fókusz-távolságon belül). Ilyenkor a betű egyenes állású és nagyított képét látjuk (a lencse ilyen helyzetében semmiképpen sem lehet a képet papírlapon felfogni, ez a kép nem valódi, csak látszólagos).

Távolítsuk most a lencsét a betűkről, és szemünk is legyen 40-50 cm-re a betűktől. Egyszer csak megjelenik a betűk fordított állású képe. Miközben a fordított betűket látjuk, közelítsük lassan a nagyítót a betűkhöz. A betűk képe egyre nagyobbodik. A betűk fordított állású, valódi képét látjuk.

Ezt a képet már papírlapon is felfoghatjuk (így állítottuk elő lencsével az izzószál nagyított képét is) — azért nevezzük valódinak.

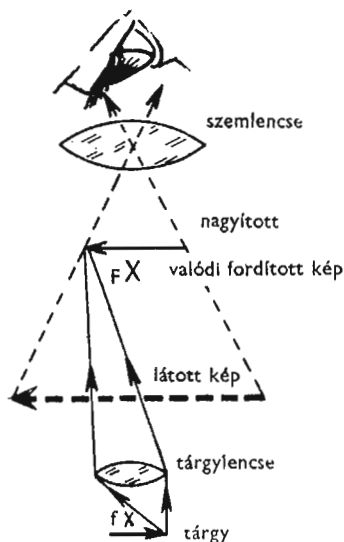
Ha megállapítanánk azt, hogy milyen messze van ebben az esetben a tárgy (a betű) a lencsétől, azt találnánk, hogy valamivel távolabb van, mint amekkora a lencse fókusz-távolsága. — A lencse mozgatása közben azt tapasztaljuk, hogy minél közelebb kerül a tárgy (a betű) a lencse fókuszához, annál nagyobb fordított képe jelenik meg a betűnek.

Ez a kísérletünk azért nagyon fontos, mert a mikroszkópban az így keletkező, nagyított képet használjuk fel.

2. Kísérlet: egy második nagyító lencsével fokozzuk a nagyítást. Az előző kísérlet azt mutatta, hogy apró tárgy nagyított és fordított képe jelenik meg akkor, ha a nagyítót úgy tartjuk, hogy a tárgy a lencse fókuszán kívül legyen, de közel a fókuszhoz.

Nem lehetne-e ezt a valódi képet egy másik lencsével mint egyszerű nagyítóval nézni? Próbáljuk meg! Kerítsünk egy másik nagyítót is. Ennek nagyítása is kb. 3-5-szörös legyen.

Vegyük most a jobban nagyító lencsét bal kezünkbe, a másikat meg jobb kezünkbe. Tartsuk a bal kezünkbe fogott lencsét (tárgylencse) a szöveg fölé úgy, hogy a távolabb tartott szemünk a betűk fordított, nagyított képét lássa. Ekkor tegyük a szemünk elé a jobb kezünkben



215. A mikroszkóp működésének elve. A keresztbe húzott vonalak a szemlencse, ill. a tárgylencse fókuszának helyét jelzik

tartott másik nagyító lencsét (szemlencse 215. ábra). Egy kis próbálgatás után meglepődve vesszük észre, hogy a betűknek milyen tiszta és milyen erősen nagyított képét látjuk.

Változtassuk finoman a tárgylencse távolságát. Azt látjuk, hogy rohamosan változik a nagyítás, de minden esetben változtatni kell a jobb kézben tartott szemlencse távolságát is, hogy tiszta képet lássunk.

Mekkora nagyítást érhetünk el két lencsével? Miközben a tárgylencsét egyre közelítjük a tárgyhoz (hogy a tárgy minél közelebb essék a lencse fókuszához, de azért rajta kívül legyen), azt látjuk, hogy végül a nyomtatott pont akkora is lehet, hogy betölti az egész látómezőt.

Tehát két lencsével szinte tetszés szerinti mértékig fokozhatnánk a nagyítást.

De kísérletünkben azt is látjuk, hogy bizonyos nagyítási határon túl **feltűnő mértékben romlik a kép jósága**: torz, homályos, színes lesz. — Kísérletünkben könnyű megállapítani a nagyításnak azt a fokát, ameddig elmehetünk valamilyen lencsepárral. Ezen túl nem érdemes fokozni a nagyítást.

Tegyük fel, hogy a tárgylencsét úgy állítjuk be, hogy 4-szeres nagyítást adjon, és egy 5-szörösen nagyító szemlencsét használunk, akkor a nagyítás $4 \times 5 = 20$ -szoros.

A nagyítást tehát úgy nyerjük, hogy a tárgylencse és a szemlencse nagyításait összeszorozzuk.

Miben különbözik a gyárilag előállított mikroszkóp kísérleti összeállításunktól?

Lényegileg semmiben. Csupán tökéletesebb lencsákat alkalmaznak, amelyek a lehetőség határáig (de nem teljesen) kiküszöbölik a kép színeződését, az egyes vonalak torzulását, és az egész képmezőben éles képet mutatnak. Ilyen tökéletesebb lencséből csinálják a messzelátókat, fényképezőgépeket is.

Ezenkívül a mikroszkópban is csöbe építik bele a lencsákat, hogy a külső fény ne zavarja működését. — A lencsék célszerű mozgatását, amire kezünket használtuk, csavaros szerkezetek végzik.

A fénymikroszkópban alkalmazott tárgylencsék nagyítása 5—100-szoros. A szemlencséké pedig 6—25-szörös. — Ebből kiszámítható, hogy egy gyári készítésű fénymikroszkóp legkisebb nagyítása $5 \times 6 = 30$ -szoros; a legnagyobb nagyítása pedig $100 \times 25 = 2500$ -szoros.

Egy mikroszkóphoz többféle tárgylencsét és szemlencsét mellékelnek, hogy a nagyítást tetszésünk szerint változtathassuk.

Vannak gyárak, amelyek a lencsékre ráírják a nagyítást. Ebben az esetben — mint tudjuk — a mikroszkópok nagyítását a tárgylencsére és a szemlencsére írt nagyítások szorzata adja meg.

Más gyárak nem írják rá mikroszkópjaik tárgylencséire a nagyítást, hanem egyszerűen egy számot adnak neki. — A szemlencsére ráírják a nagyítást. — A két lencséhez tartozó összes nagyítást egy táblázatból lehet leolvasni.

Gondolkozzunk: 1. Világhírű optikai gyárak miért követik azt az első pillanatra helytelennek látszó szokást, hogy mikroszkópjaik tárgylencséire nem írják rá a nagyítást?

Felelet: kísérleteinkből tudjuk, hogy egy lencsével a villanylámpa izzószálának tetszés szerinti nagy képét vetíthetjük ki. Minél távolabb van a fal, az ernyő, annál nagyobb képet vetíthetünk rá. Minél távolabb van a fal — annál jobban nagyított a lencse által alkotott kép.

A mikroszkóp tárgylencséje ugyanúgy működik, mint egy vetítőlencse — bármekkora nagyítású képet vetíthetünk vele a szemlencse

elé. Ez a nagyítás attól függ, hogy milyen messze van a szemlencse — azaz: milyen hosszú a mikroszkóp csöve (tubusa).

Ma még különböző hosszúságú mikroszkópcsöveket alkalmaznak (sőt vannak kihúzható csövű mikroszkópok is).

Ezért a mikroszkóp tárgylencséjének nagyítása mindig attól függ, hogy milyen hosszú a tubus, milyen messzire van a tárgylencsétől a szemlencse.

Ha majd az egész világon megegyeznek abban, hogy a mikroszkóp csőhosszának például 17 cm-nek kell lennie, akkor a tárgylencsék foglalatára is egységesen ráírható lesz a nagyítás (amely csakis a 17 cm-es csőhossz esetén érvényes).

2. A gyártó cég egy messzelátó nagyítását 10-szeresnek adja meg, egy mikroszkópét pedig például 120-szorosnak. — Ha méréssel ellenőrizzük nagyításukat, bizonyos-e, hogy a mérések eredménye egyezik a megadott értékekkel?

Felelet: nem bizonyos! Mindennapi tapasztalat az, hogy ha messzelátón vagy mikroszkópon át tisztán látjuk a tárgyat, és utánunk egy másik személy néz az eszközbe, ő már nem lát tisztán, újra be kell állítania az eszközt a saját szeméhez.

Mi ennek az oka? — A tárgylencse mindig ugyanoda vetíti a valódi képet — bárki néz is az eszközbe. De tudjuk, hogy ezt a képet a szemlencsén mint nagyítón át nézzük. A szemlencsét minden szemre nézve külön be kell állítani, attól függően, hogy mekkora a tisztalátás távolsága az illető szemére nézve. — Márpedig az egyszerű nagyító nagyítása függ a tisztalátás távolságától (250. oldal).

Az optikai eszközök nagyítását 25 cm-es tisztalátás távolság alapulvételével adják meg. Minél távolabbról szokott valaki olvasni szemüveg nélkül, annál nagyobbabbnak találja az optikai eszközök nagyítását méréskor.

Hogyan mérhetjük meg a mikroszkóp nagyítását?

Akár magunk készítünk egy kezdetleges mikroszkópot, akár olyan mikroszkóp akad kezünkbe, amelyről nem olvashátjuk le a nagyítását, szükségünk lehet arra, hogy kísérlettel mérjük meg a nagyítást. Ezt igen egyszerűen elvégezhetjük.

Kísérlet. Eljárásunk alapelve ugyanaz, mint az egyszerű nagyító esetén. A mikroszkóp tárgylencséje alá egy milliméterpapírból kivágott szeletet teszünk, és beállítjuk rá mikroszkópunkat. A milliméter jól nagyított képét látjuk.

Kezünkbe fogunk egy másik, milliméteres beosztású papírcsíkot, és azt úgy tartjuk, hogy szemünktől kb. 25 cm távolságra legyen. Egyik szemünkkel tehát a nagyított beosztást látjuk, a másik szemünkkel pedig a kezünkben tartott nagyítatlan beosztást.

Addig helyzetgetjük a kezünkben levő papirost, amíg a mikroszkópban látott nagyított kép rá nem esik a tisztalátás távolságában levő, kezünkben tartott skálára. Ekkor megfigyeljük, hogy a milliméter-skála nagyított képe hány milliméter széles távolságot fed be a kezünkben tartott papírszeleten.

Ily módon kb. 100-szoros nagyításig mérhetünk. Ha még nagyobb nagyításról van szó, akkor összehasonlító mérést végzünk alkalmas tárgy segítségével. Például megállapítjuk, hogy egy hajszál 100-szoros nagyításban hány milliméter szélesnek látszik a 25 cm távolságban levő milliméterpapíron. Azután a nagy nagyításban állapítjuk meg ugyanezt. Ha most 6-szor vastagabbnak látszik a hajszál, akkor az eszköz nagyítása 600-szoros.

Saját készítésű mikroszkóppal 50—200-szoros nagyítást érhetünk el. Egyszerűbb iskolai és gyakorló mikroszkópok nagyítása 100—600-szoros. — A mikroszkóppal vizsgált tárgyat (például vér; borotvával átlátszó vékonyra vágott metszet) rendszerint üveglemezre tesszük, és így toljuk a mikroszkóp lencséje alá, azután alulról felfelé vetített fényel átvilágítjuk. A tárgyat tartó üveglemez (tárgylemez) alatt tükör van, és ez a **megvilágító tükör** vagy a nappali természetes fényt, vagy egy izzólámpa fényét vetíti a tárgyon keresztül. A megvilágító

tükör lehet sftükör is, de jobb a homorú tükör, mert ez kis felületre gyűjti össze a fényt, és erősebb megvilágítást idéz elő.

Ha a nagyítás nagyobb, mint 600-szoros, akkor már nem elég csak homorú tükörrel összegyűjteni a fényt a tárgyra, hanem egy fénygyűjtő lencsét kell alkalmazni (kondenzorlencse, kondenzoros mikroszkóp), és ennek gyújtópontjába helyezzük a tárgyat. A mai leg-tökéletesebb mikroszkópjaink 2000-2500-szorosan nagyítanak. Ez annyit jelent, hogy a tárgylencse alá tett 0,1 mm 250 mm = 25 cm hosszúnak látszik a tisztalátás (25 cm) távolságába helyezett skálán.

Ezt a nagyítást a lencsehibák kiküszöbölése, elsősorban a lencse által alkotott kép színeződésének lecsökkentése tette lehetővé. Az első lencsüket, amelyek csak kis mértékben mutattak színeződést, 1824-ben csiszolták a nagy matematikus, **Euler** számításai alapján. Ekkor indult meg a mikroszkóp fejlődése. Tökéletességének tovább már nem fokozható mai szintjét pedig 1850 körül érte el a német **Abbe** tudományos kutatómunkája alapján.

Hogyan állapíthatjuk meg a kezünkbe került mikroszkóp jóságát ?

Említettük, hogy két egyszerű nagyító lencsével is elérhetnénk igen nagy nagyításokat, de nem lenne benne örömünk. A mikroszkópban tiszta, éles és lehetőleg színek nélküli képet akarunk látni addig a nagyításig, amit a gyártó cég ráír. Tegyük fel, hogy kezünkbe kerül egy egyszerű mikroszkóp, amely 250-szeres nagyításig használható.

Kísérlet. Cseppentsünk egy csepp vizet a mikroszkóp alá helyezhető üveglemezre (a tárgylemezre). Porszemnyi sárga vagy piros festékszemeckét tegyünk a vízcseppecskébe, és dörzsöljük szét ujjunkkal. Azután fedjük le a vízcseppet a vékony fedőlemezzel, és helyezzük a kissé színes vizes lemezt a mikroszkóp alá.

Ha a mikroszkóp jó, akkor már 80-100-szoros nagyításkor is meglepő látványban lesz részünk. A vízben finoman eloszlott festékszemeckék mint tűhegyeni, igen apró pontok látszanak, de ezek a pontocskák állandóan rezegnek. — 250-szeres nagyításban pedig majdnem

mákszemnyinek látszanak, és gyönyörű látványt nyújtanak, amint nyüzsögnek. (Ez a Brown-féle mozgás, l. 205—209. oldal.)

Ha azonban a **mikroszkóp gyenge minőségű**, akkor az előbbi éles kép helyett egy elmosódott, életlen, szivárványszínes, rossz képet látunk.

Kísérletek a látásra

Mikor szükséges a szemüveg?

1. Kísérlet: a) Milyen közelre tud alkalmazkodni szemünk? Próbáljuk ezt a szöveget olvasni úgy, hogy egyre közelebb tartjuk szemünkhöz. Egy bizonyos közelségen túl már nem látjuk tisztán a betűket, bármennyire erőltetjük is a szemünket.

Mérjük meg azt a távolságot, ahonnan még tisztán látjuk a betűket. Legyen ez például 15 cm. Akkor azt mondjuk, hogy szemünk **közelpontja** 15 cm-re van.

b) Végezzük az előző kísérletet és mérést mindkét szemünkre nézve külön-külön (közben a másik szemünket becsukva vagy lefedve tartjuk). Azt tapasztaljuk, hogy általában **nem** ugyanakkora a közelpont távolsága a két szemre.

Milyen közelre tud az ép szem alkalmazkodni?

Egy 10 éves gyermek még akkor is tisztán látja a betűket és tud olvasni, ha szeme csak 7 cm távolságra van a szövegtől. Ennél is fiatalabb korban még kisebb távolságra tud alkalmazkodni a szem.

Minél inkább szaporodik éveink száma, annál messzebbre távolodik szemünktől a közelpont. A hatvanéves ember általában már csak akkor tud szabad szemmel, szemét erőltetve olvasni, ha legalább 50 cm-re tartja az olvasnivalót.

A korral együtt csökken szemünk alkalmazkodóképessége.

2. Kísérlet: milyen távolságra tud alkalmazkodni szemünk? Az ép szemű ember tisztán látja a távoli tárgyakat is (például fénylő pontoknak látja a csillagokat). Azt mondjuk, hogy szeme alkalmazkodni tud

az igen távol levő tárgyhoz is, szemének **távolpontja** a végtelenben van.

De kb. 50 évnél idősebb korban a messze levő tárgyakat nem látjuk tisztán (például pontszerű csillagok helyett fénylő korongokat látunk az égen).

3. Kísérlet: milyen távolságból tudunk megerőltetés nélkül olvasni? Mérjük meg, hogy milyen messze szoktuk tartani szemünket a könyvtől olvasás közben. Ez a **tisztalátás távolsága**. A normális szemre nézve 25 cm. Ha szemünket jelentékenyen távolabb vagy közelebb kell tartani, akkor szemüvegre szorulunk.

A 2. és 3. kísérletet is végezzük el mindkét szemünkre nézve külön-külön. Lehet, hogy nagy különbségeket találunk. Van, aki több év múltán sem veszi észre, hogy egyik szeme annyira rossz, hogy már régen szemorvoshoz kellett volna fordulnia.

A vakfolt kimutatása

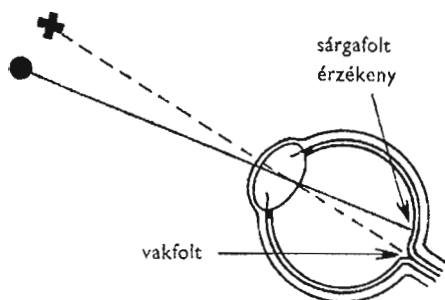
Kísérlet. El sem hinnénk, hogy miközben olvassuk ezt a lapot, van a szövegnek olyan része, amelyet nem lát a szemünk. Ezt bebizonyíthatjuk a következő kísérlettel:

Hunyjuk be a bal szemünket (vagy fogjuk be), és jobb szemünkkel nézzük mereven a 216. ábrán a kört. Közeledjünk szemünkkel a körhöz, akkor először a jobb szélső fekete négyzet tűnik el, további közelítéskor pedig a kereszt lesz láthatatlan, de újra látjuk a négyzetet (közben mindig a körre nézzünk).

A magyarázatot a 217. ábra adja. Szemünk tengelyében a szemgolyó hátsó falán levő hely a legérzékenyebb. Egy tárgyat akkor látunk legjobban, ha képe erre a helyre, az úgynevezett sárgafoltra esik.



216. A vakfolt kimutatása. Csukjuk be bal szemünket, és jobb szemünkkel nézzük a kört. Közelítsük szemünket az ábrához. Először eltűnik a négyzet, azután a kereszt



217. A kereszt képe akkor tűnik el, ha úgy tartjuk szemünket, hogy a kereszt képe a vakfoltra essék. A vakfolt érzéketlen a fényre

A sárgafolt közelében van az a hely, ahol a látóidegek belépnek a szembe. Ez a vakfolt. Ha a tárgy képe erre a helyre esik, akkor a tárgyat nem látjuk. (Később több olyan kísérletet ismertetünk, amelyekben a vakfoltnak szerepe van.)

Valóban nagyobb a nyugvó-kelő Hold korongja?

A kelő vagy nyugvó Hold (Nap) a látóhatár közelében óriási nagynak látszik, sokkal nagyobb, mint amikor magasan áll az égen.

Valóban nagyobb-e ilyenkor a Hold (Nap) korongja, vagy csak úgy látszik? — A kérdést könnyű méréssel eldönteni.

Kísérlet. Fogjunk kezünkbe egy tízfillérest (vagy vágjunk ki keménypapírból megfelelő nagyságú körlapot), és holdkeltekor tartsuk a Hold felé kinyújtott karral, olyan messzire tőlünk, hogy éppen elfedje a Hold korongját. — Végezzük el ezt akkor is, amikor a Hold igen magasan áll az égen. — Azt látjuk, hogy most is ugyanolyan messzire kell tartani a korongot, hogy elfedje a Holdat.

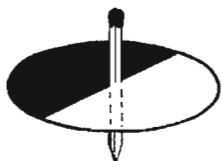
Egy másik módszer. Kinyújtott karral fogjuk a kezünkben tartott körző nyílásába a Holdat az említett két esetben. Mérjük meg a körző csúcsainak egymástól való távolságát. Ugyanakkorának találjuk.

Ebből az következik, hogy szemünkben ugyanakkora kép keletkezik a Hold bármely állásakor.

A forgó korong

Ezt a kísérletet mintegy 56 éve végezték először. De a jelenséget még máig sem sikerült teljesen megmagyarázni. Nagyon valószínű, hogy a kísérlet alapján végzett megfigyelések új ismeretekkel fogják gazdagítani a szem működésére vonatkozó tudásunkat.

Kísérlet. Vágjunk ki kemény papírból kb. 6 cm átmérőjű korongot. A korong felét fessük be tusfeketére, a másik fele legyen fehér. Szúrjunk át egy gyufaszálat a korong közepén, és pörgessük meg (218. ábra).



218. A pörgő korong lapján különféle színek jelennek meg, miközben a korong forgása egyre lassul

Figyeljük a pörgésben levő korong lapját. Azt várjuk, hogy szürke színűnek látjuk. De a korongon különféle színek jelennek meg. Például a szélét vörösnek látjuk, beljebb zöld, kék, néhol ibolyaszínűnek látszik a korong. — A korong forgása egyre lassul, ezzel együtt változnak a színek is a korongon.

Miért látszik színesnek a korong, amikor csak fehér és fekete szín van a felületén? Miért változnak a színek a forgás sebességével?

A fehér színben benne vannak a szivárvány összes színei. A korong fehér feléről tehát mindenféle színű fény jut a szemünkbe, de csak rövid ideig, mert utána a korong fekete része következik.

A tapasztalat szerint bizonyos mennyiségű fénynek kell hatnia szemünkre, hogy észrevegyük. Az a kérdés, hogy ez a mennyiség egyenlő nagy-e minden színű fényre vonatkozólag?

A vizsgálatok szerint nem egyenlő nagy.

Lehetséges tehát, hogy az egyik színt már látja szemünk, amikor a másiktól még nem érkezett annyi, hogy észrevegyük. Tehát a korong fehér fele színesnek látszik. Mivel a forgás sebességével változik a korong fehér fele láthatóságának ideje, változik a szín is.

A szemben a fénybenyomás egy ideig megmarad, és csak bizonyos idő múlva alszik ki. Ez a kialvási idő sem egyenlő a különböző színekre nézve. Ez is közrejátszik a jelenség keletkezésében.

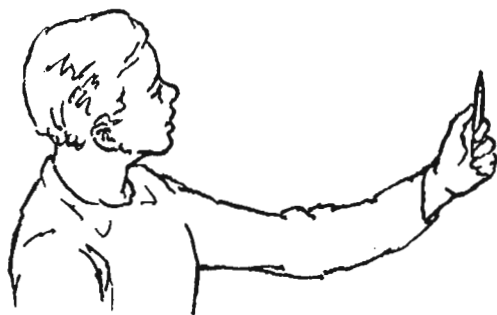
Kísérletünk elején, amikor leggyorsabban forog a korong, felületét gyengén zöldes színben látjuk. Ekkor is érik szemünket a félkorong fehér színében jelenlevő **összes** szivárványszínek, nagyon rövid ideig. — Hogy mégis csak a halvány zöld színt látjuk, ez annak a jele, hogy **szemünk a zöld színre** a legérzékenyebb.

Sokkal hatásosabban jelentkeznek a színjelenségek, ha a forgó korong fölé egy papírlapot tartunk úgy, hogy a lap **a korong felét** eltakarja a szemünk elől.

Ujjunk mint térlátó eszköz

A tárgyat térbelien látjuk, a képet pedig síkban. A **térbeli látást** főleg az okozza, hogy két szemünk egymástól való távolsága miatt az egyik szemben keletkező kép kissé más, mint a másik szemben keletkező. Ezt könnyen megértjük egy kísérlet alapján.

Kísérlet. Nyújtsuk ki jobb karunkat, és tartsuk függőlegesen a kezünkben tartott ceruzát (219. ábra). Hunyjuk be jobb szemünket és nézzünk bal szemünkkel a ceruzára. Ezután bal szemünket hunyjuk be, és jobb szemünkkel nézzük a ceruzát. Ismételjük meg ezt néhány-szor egymás után. Meglepődve látjuk, hogy a ceruza a háttérhez ké-

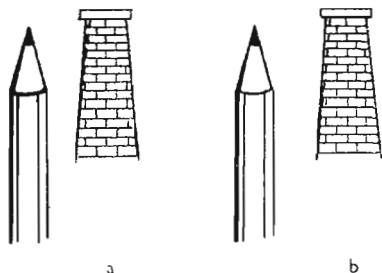


219. A csak az egyik, majd csak a másik szemünkkel nézett ceruza a háttérhez képest ide-oda elmozdul

pest ide-oda elmozdul. Ha bal szemmel nézzük, jobbra mozdul el. — Ha jobb szemmel nézzük, balra mozdul el. Ha mindkét szemünkkel nézzük, akkor egyetlen ceruzát látunk, de a ceruzát térbelien látjuk, hozzánk közelebb, mint a háttér.

Próbáljuk tapasztalatunkat egyszerűsítve lerajzolni. Tegyük fel, hogy a háttérben egy kémény van (220. ábra). Akkor a kinyújtott karral tartott ceruza a kéményhez közelebb látszik, ha bal szemmel nézzük, ha pedig csak jobb szemmel nézzük, akkor a kéménytől távolabb látszik.

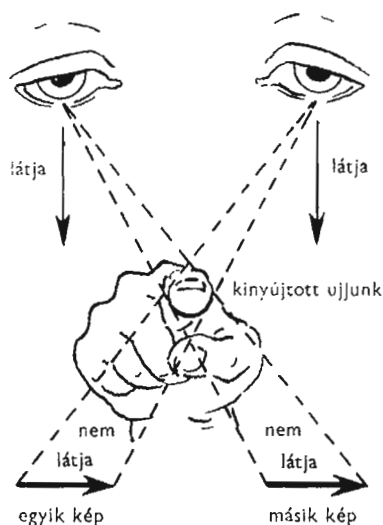
Ha most valamiképpen sikerülne ezt az ábrát úgy néznünk, hogy bal szemmel csak a bal oldali ábrát látnánk, jobb szemünkkel pedig csak a jobb oldali ábrát — akkor mindkét szemünkkel egyszerre nézve egyetlen ábrát látnánk, csak hogy a ceruza a kémény előtt, hozzánk közelebb látszana, mintegy lebegve a levegőben. Azaz az ábrának térhatása lenne.



220. Így látszik a ceruza a távoli kéményhez képest, ha csak a bal szemmel (a) vagy csak a jobb szemmel (b) nézzük. — Ha a két képet a 221. ábra szerinti módszerrel nézzük, gyönyörű térhatású

Ezt a meglepő jelenséget igen könnyen megvalósíthatjuk.

Kísérlet. Csak a mutatóujjunkra van szükség, és térhatásának látjuk ábránkat. Mutatóujjunkat nyújtjuk ki, a többi ujjunkat hajlítjuk tenyerünkre. Kinyújtott mutatóujjunkat tartjuk orrunktól kb. 5-8 cm-re úgy, hogy ha bal szemünket behunyjuk (és jobb szemünkkel nézzük a képet), akkor ujjunk a bal oldali képet takarja, ha pedig jobb szemünket hunyjuk be és csak bal szemünkkel nézzük a képet, akkor ujjunk a jobb oldali képet fedi el (221. ábra).



221. Minden készülék nélkül is térbelien láthatjuk a térhatású képeket, ha kinyújtott mutatóujjunkt úgy tartjuk a kép fölé (attól alkalmas távolságban), hogy ujjunk mindkét szemünk előtt elfogja a másik szem számára készült képet

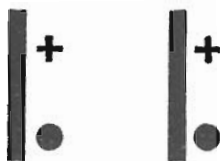
Miközben kinyújtott ujjunkat szemünkhöz közelítjük, távolítjuk, rövid próbálgatás után sikerül az előbb leírt helyzetet eltalálni.

Ha most ebben a helyzetben mindkét szemünkkel egyszerre nézünk, akkor jobb szemünkkel csak a jobb oldali képet látjuk (a bal oldali képet eltakarja ujjunk), bal szemünkkel meg csak a bal oldali képet látjuk (a jobb oldalit eltakarja előle ujjunk). Egyszer csak a két kép fedésbe kerül, mintegy egymásra ugrik, és térbeli képet látunk.

Rajzoljunk egyszerű térhatású képeket

Semmi rajztehetség nem szükséges ahhoz, hogy egyszerű sztereoskopikus ábrákat rajzoljunk, de kitűnő és tanulságos szórakozást találunk benne.

Először a 222. ábra alapján mutatjuk be, hogyan készítjük a térhatású képet. Rajzoljunk egy papírlapra két párhuzamos, vastag vonalat, egymástól 2,5-3 cm távolságra. Ne legyenek távolabb egymástól, mert akkor nehéz lesz, sőt esetleg egyáltalán nem sikerül fedésbe hozni őket.



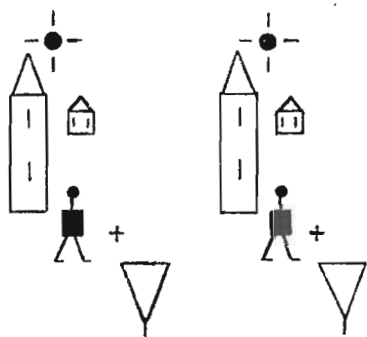
222. A térhatású ábrák rajzolásának alapelve

Ezután rajzoljunk a bal oldali egyenes mellé egy pontot. A megfelelő pontot rajzoljuk a jobb oldali egyenes mellé is. A két pont legyen azonos magasságban (ugyanazon a vízszintes egyenesen, de a jobb oldali pont 1-2 mm-rel legyen közelebb vagy távolabb a jobb oldali vastagon kihúzott egyenestől, mint a bal oldali pont).

Amikor eddig kész a rajz, próbáljuk most térbelien nézni az ujjmódszerrel. Ha a két vastag vonalat fedésbe hozzuk, meglepődve látjuk, hogy a pont nem a papír síkjában látszik, hanem felette vagy alatta. Ha a jobb oldali pont kissé közelebb van a vastag egyeneshez, mint a bal oldali, akkor a pont hozzánk **közelebb** látszik lebegni.

Rajzoljuk le most a keresztet is. De a keresztet úgy rajzoljuk, hogy a jobb oldali vastag vonaltól kissé távolabb legyen, mint a bal oldaltól. — Nézzük ujjmódszerrel rajzunkat. A kereszt a vonal **mögött**, távolabb látszik lebegni.

Hasonlóképpen helyezhetnénk el egyéb egyszerű alakzatokat is a két vastag vonal mellé. Csak az a fontos, hogy a vonaltól mért távolságuk ne különbözzék egymástól többel, mint 5 mm. Különben nem tudjuk fedésbe hozni őket a nézéskor.



223. Ujjmódszerrel hozzuk fedésbe a két ábrát. Meglepően térhatású képet látunk

Most már tudatosan rajzolhatjuk le a 223. ábrát. Először a két tornyot rajzoljuk le azonos nagyságban, de úgy, hogy távolságuk (például bal szélüké) egymástól ne legyen több, mint 2,5-3 cm. Térbeli nézéskor majd ez a két torony kerül fedésbe. A mellékábrákat a tornyokhoz képest helyezzük el. A Nap meg a kis ház a jobb oldali tornytól kissé messzebb van a rajzon, mint a bal oldali tornytól. Ezért térbeli nézéskor majd **a tornyok mögött** látszanak. — Az ember a jobb oldali ábrán kissé közelebb van a toronyhoz, mint a bal oldalin. Ezért térbeli nézéskor **a torony előtt** látszik. A háromszögű tábla is közelebb van a jobb oldali ábrán az emberhez, mint a bal oldalin, ezért a tábla **az ember előtt** látszik, hozzánk az embernél is közelebb, a térbeli nézéskor.

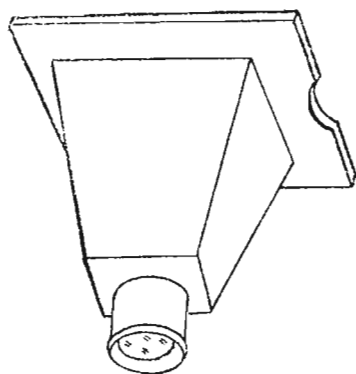
Ha némi rajzkészségünk van, akkor egyéb, egyszerű térhatású ábrákat, képeket is rajzolhatunk. Versenyezhetünk is egymással készítésükben.

Így könnyű a térlátás

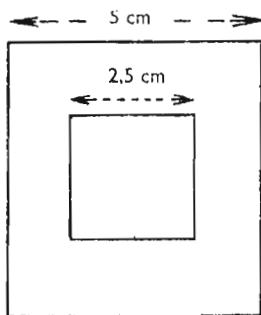
Nagyon olcsón lehet kapni dianézót (224. ábra). Két darabra van szükségünk. A legolcsóbbak is megfelelnek. Ezekbe a dianézókba 5 cm oldalhosszúságú, négyzet alakú diaképeket lehet betolni. —

De mi majd magunk rajzoljuk meg a térlátáshoz szükséges két ábrát, az előbb megismert módszerrel.

Kísérlet. Vágjunk ki rajzlapból két 5 cm oldalú négyzetet. Ezekbe rajzoljunk bele egy-egy 2,5 cm oldalú négyzetet (225. ábra). Szem-



224. Két darab ilyen dianézőre van szükségünk. Egyikbe toljuk a bal szemnek megfelelő térhatású ábrát, a másikba a jobb szemnek megfelelő ábrát



225. Az egyik ilyen, rajzlapból kivágott lapra rajzoljuk meg a térhatású kép bal szemnek megfelelő ábráját. A másik lapra pedig a jobb szemnek megfelelő ábrát

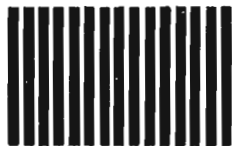
közi oldalaik felezőpontját kössük össze vékony egyenessel. Ezek a vonalak segítenek abban, hogy a berajzolt részletábrákat egymáshoz képest megfelelően eltolhassuk (amint ezt az előző ábránkon látjuk). Jó, ha nyíllal jelöljük meg, hogy melyik oldalával kell a rajzot a dianézőbe tolni.

Dugjuk be egyik rajzunkat az egyik dianézőbe, a másik rajzot a másik dianézőbe. Azután tartsuk egyiket a bal szemünk elé, a másikat a jobb szemünk elé. Két rajzot látunk, s egy kis próbálgatással olyan helyzetbe hozhatjuk a dianézőket, hogy a bennük látott két kép egybeesik. Szép térhatású képet látunk.

Ennek a dianézős térhatású módszernek az a hátránya, hogy csak kicsiny képekkel kísérletezhetünk.

Szemünk felbontóképessége

Rajzoljunk fehér papírlapra 1 mm széles fekete vonalakat egymástól 1 mm távolságra (226. ábra). Tűzzük a papírlapot az ajtófélfára vagy a falra. Vagy támasszuk meg a kinyitott könyvet úgy, hogy messziről



226. Ezek a vonalak egymástól 1 mm távolságban vannak. Nézzük őket egyre messzebről. Körülbelül 3,5 m-ről már nem látjuk őket külön-külön. Szemünk nem tudja őket elválasztani egymástól

is láthassuk a 226. ábrát. A vonalakat külön-külön látjuk még akkor is, ha 1-2 m távolságból nézzük őket. Menjünk egyre messzebb. Egyszer csak egy összefüggő szürke felületet látunk, nem látjuk a vonalakat egyenként, szemünk nem tudja részleteire bontani az ábrát. Szemünk felbontóképességének határa van.

Számítsuk ki: kísérletünk alapján mekkora szemünk felbontóképessége?

Tegyük fel, hogy 3,5 m-ről már nem látjuk külön-külön a vonalakat.

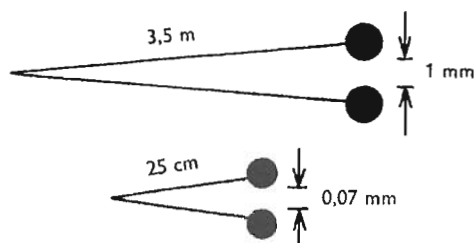
Eszerint, ha két vonal vagy két pont nincs messzebb egymástól, mint 1 mm — akkor 3,5 m távolságból már nem tudjuk különállónak látni őket. Szemünk felbontóképességének határa 3,5 m távolságban 1 mm.

Közismert tapasztalat az, hogy messze levő ismerősünket arcvonásairól nem ismerjük fel, mert nem tudjuk az arc részleteit megkülönböztetni. Milyen messziről nem látjuk már egy ember két szemét külön?

Két szemünk távolsága egymástól kb. 60 mm.

Ha az egymástól 1 mm-nyire levő pontokat 3,5 m-ről már nem látjuk különállónak, akkor az egymástól 60 mm-nyire levő két szemet 60-szor nagyobb távolságból, azaz $60 \times 3,5 = 210$ m-nyiről nem tudjuk megkülönböztetni.

Gyakorlatilag sokkal fontosabb egy másik kérdés. Munka közben a tárgyakat a tisztalátás távolságából, 25 cm-ről szoktuk nézni. Milyen távol kell lennie egymástól két pontnak, hogy 25 cm távolságból különállónak lássuk őket?



227. Ha két pont egymástól 1 mm-nyire van, akkor 3,5 m távolságból már nem látjuk őket különállónak. — 25 cm távolságból pedig csak akkor látunk különállónak két pontot, ha messzebb vannak egymástól, mint 0,07 mm.

Mivel a 25 cm a 3,5 m-nél 14-szer kisebb távolság, azért a 227. ábra szerint a két pont távolsága is 14-szer kisebb, tehát $1/14 \text{ mm} = 0,07 \text{ mm}$.

Olvasás, írás közben tehát csak akkor látunk két pontot egymástól elválasztva, ha azok távolabb vannak egymástól, mint 0,07 mm, kerekítve 0,1 mm.

Gyakorlati vonatkozások

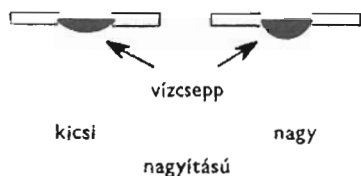
Napilapjaink képeket, fényképeket közölnek. Már szabad szemmel is érdekes megfigyelést tehetünk. Ezek a képek apró pontocskákból állnak. A pontok sorban, szabályosan helyezkednek el. A kép világosabb helyein kisebbek a pontok, a sötétebb helyeken nagyobbak, a kép fekete helyein majdnem egészen érintkeznek. Így sikerül az egymáshoz közel álló apró pontok segítségével kifejezni a kép árnyalatait.

Kísérlet: vizsgálat vízcsepplencsével. Különösen jól látható az ábrák sűrű pontsora egyszerű nagyítólencse segítségével. Legtöbbünknek nincs 4—10-szeres nagyítású domború lencséje. **De pillanatok alatt igen könnyen készíthet bárki magának a célnak teljesen megfelelő nagyítólencsét.**

Mindenütt akad elhasznált borotvapenge. Olyan pengére van szükségünk, amelyen önálló körlyukak vannak. A három lyuk közül csak egyre lesz szükség.

A penge olajozva van a rozsdásodás ellen. Alaposan súroljuk le, hogy az olajnyomoktól megtisztuljon. A tiszta pengét tartjuk vízszintesen. Mártsuk ujjunk hegyét vízbe. Az ujjunk hegyén levő vízcseppet tegyük a penge egyik lyukába. Rendszerint első próbára kitölti az egész lyukat, és alul kidomborodva vízlencsét alkot. Simítsuk el a vizet a penge felületén, hogy a csepp felső felszíne sík legyen.

Egy papírdarabkával több-kevesebb vizet felszívhatunk a lyukból. Így kisebb-nagyobb domborulatú vízlencsét készíthetünk. Minél domborúbb a lencse, annál jobban nagyít (228. ábra). Így könnyű 50-szeresen nagyító vízlencsét is előállítani.



228. Cseppentsünk vízcseppet a borotvapenge lyukába. A vízcsepp nagyítólenyce alakú. Az alája tett tárgyat 5—50-szeresen nagyítva láthatjuk, ha a vízcseppen át nézzük

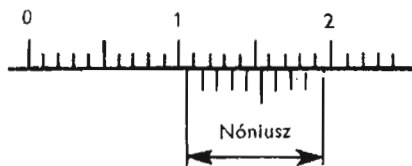
A borotvapenge másik része kitűnő lencsefogóul szolgál. Tartsuk a pengét vízszintesen a vizsgált ábra fölé. A vízcseppen át 5—50-szeres nagyításban kitűnően látható a képek pontrácsszerkezete.

A napilapok a gyenge minőségű papír miatt nem is alkalmaznak sűrű pontsorokat. Ha a képre egy szeletke milliméterpapírt is helyezünk, akkor cseplensénnkel könnyen leolvashatjuk, hogy milliméterenként hány pont van. A napilapok képein milliméterenként kb. 2 pontot találunk csak, tehát a pontok távolsága 0,5 mm. Ez nagyon felette van a szem felbontóképességének, a 0,07 mm-nek. De azért a célnak mégis megfelelő képhatást adnak.

Mérőeszközeink skáláján (például a **nóniuszbeosztáson**) észre kell venni egymás alá eső vonalak **eltolódását** egymáshoz képest (229. ábra). Szemünk még akkor is meg tudja állapítani azt, hogy két, egymás alatti vonal nem esik egybe, ha a vonalak eltolódása 6-szor kisebb, mint a szem felbontóképessége. Tehát mérőműszereink osztásvonalának egybeesését (illetve azt, hogy egymás folytatásába esnek) kb. 0,01 mm pontossággal megállapíthatjuk.

A felbontóképesség magyarázata. Miért nem tudja szemünk külön látni azokat a pontokat, amelyek egymáshoz közelebb vannak, mint 0,1 mm?

Tudjuk, hogy a szemünkbe érkező fénysugár a szemgolyó hátsó falára jut. Itt vannak a fényt megérvő idegvégződések. Ezek a szem



229. A felső beosztás egyik vonása sem esik pontosan egy vonalba az alsó beosztás vonalaival. Szemünk ilyen esetben még 0,01 mm eltérést is észrevesz

legérzékenyebb részén (a sárgafolton) helyezkednek el a legsűrűbben, itt egymástól való távolságuk 0,005 mm.

Ha két vagy több, egymáshoz közeli pont képe egyetlen idegvégződésre esik, akkor szemünk csak egy pontnak látja a sok pontot. Nem tudja egymástól elválasztani őket.

Annak feltétele, hogy két vagy több világító pontot egymástól különállónak lássunk, az, hogy **mindegyik pont képe külön idegvégződésre essék.**

Mivel ismerjük az idegvégződések távolságát egymástól, könnyen kiszámíthatjuk azt, hogy a szemünktől 25 cm-re levő két pontnak milyen messzire kell lennie egymástól, hogy a szemben keletkező képük két külön idegvégződésre essen. A számítás eredménye megegyezik a kísérletünkben talált értékkel.

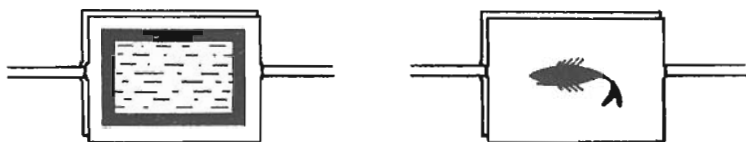
Szemünk felbontóképességének ezt a határát **Hooke** angol fizikus mérte meg először 1674-ben. Kísérletét ugyanúgy végezte el, mint mi.

Látási csalódások és érdekességek: hal a medencében

Kísérlet. Egy kartonpapírra (alakja mellékes) rajzoljuk fel az akvárium üvegfalát. A papír másik oldalára egy halat rajzolunk. — Hozzuk a papírost gyors forgásba: a hal az akváriumban látszik (230. ábra).

Magyarázat: a gyors forgás közben hol az egyik, hol a másik képet látjuk. Ha ez a változás elég gyors (legalább 10 kép másodpercenként), akkor nem látjuk külön-külön az egyes képeket. Az egyik kép benyomása még él bennünk, amikor a másikat is látjuk már.

Megjegyzés: legegyszerűbb módja a papír megpörgetésének az,



230. A kartonpapír egyik oldalára akváriumot, a másikkra halat rajzolunk (vagy madarat és kalitkát). Pörgessük meg a papírt, a hal az akváriumban látszik

hogy vékony pálcikát használunk. A két képet két különálló kartonlapra rajzoljuk, és a lapokat összeragasztjuk — közéjük téve a tengerlyül szolgáló pálcikát.

Bármilyen más (egymáshoz tartozó) két ábrát is rajzolhatunk, például egy vízszintes és egy függőleges vonalból kereszt alakul ki; szokásos a ló és a lovas, madár és kalitka.

Eltűnik a pénz az asztalról

Kísérlet. Tegyük az asztalra három pénzdarabot, egymástól 8-10 cm távolságra (231. ábra). Hunyjuk be **bal szemünket**, nyitva maradt szemünkkel nézzük mereven a bal oldali pénzdarabot, és közben távolítsuk, közelítsük fejünket a pénzdarabhoz. Miközben kb. 25-30 cm távolságból nézzük, egyszer csak eltűnik a középső pénzdarab, jöllehet a másik kettőt jól látjuk. Ha még távolabb visszük szemünket, egyszer csak a jobb oldali szélső pénzdarab tűnik el, és a másik kettőt látjuk.



231. **Eltűnik a pénz az asztalról**

Ha pedig **jobb szemünket** hunyjuk be, és másik szemünkkel a jobb oldali pénzdarabot nézzük mereven, akkor a tisztalátás távolságában eltűnik a középső pénzdarab, ha pedig még távolabbról (kb. 50 cm) nézzük a jobb szélső pénzdarabot, eltűnik a bal szélső pénzdarab.

Magyarázat: a szemlencse a pénzdarabok képét vetíti a szem hátsó falát alkotó fényérzékeny ideghártyára. De az ott, ahol az idegnyaláb belép a szembe, a halvány fényre érzéketlen. Ez a hely a vakfolt.

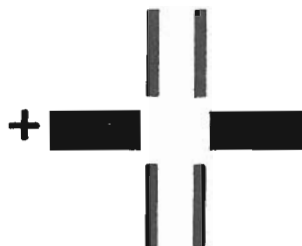
Kísérletünk nemcsak a vakfolt létezését mutatja ki, hanem azt is, hogy a vakfolt a szem tengelyétől kissé oldalt van.

Hasonlóképpen el lehet tüntetni a látómezőnkéből bármely más kisebb tárgyat, ami az asztalon vagy a falon van.

Amikor egyesül az elválasztott

Nézzük jobb szemünkkel mereven a keresztet a 232. ábrán (közben bal szemünket tartjuk csukva). — Közelítsük, távolítsuk szemünket a kereszttől. Az előbbi kísérlet alapján egyszer csak eltűnik az egyik függőleges vonal — legalábbis részben, de ugyanakkor a másik vonalat folytonosnak látjuk.

Miközben közelebből-távolabbról nézzük a keresztet, hol az egyik, hol a másik függőleges vonal látszik folytonosnak. Ebben a jelenségben a vakfolton kívül még látási csalódás is szerepet játszik.



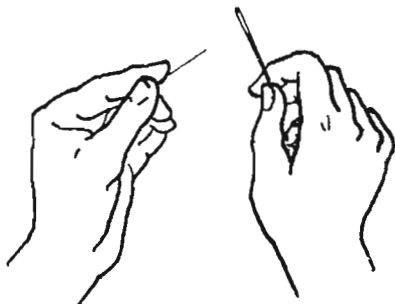
232. Csukjuk be bal szemünket. Jobb szemünkkel nézzük a keresztet. Közelítsük, távolítsuk az ábrát. Hol az egyik függőleges egyenes látszik folytonosnak, hol a másik

Ha leszűkítjük szemünk látólyukát — tisztább a kép

1. Kísérlet. Ha a jól megvilágított újságot vagy más nyomtatott szöveget 5-6 cm közel tartjuk szemünkhöz, a betűk elmosódnak, nem tudjuk olvasni a szöveget. De ha ebben a helyzetben keménypapírra tűvel fúrt kis lyukat tartunk közvetlenül szemünk elé, jól tudjuk olvasni a betűket.

2. Kísérlet. Tegyük a keménypapírra fúrt finom lyukat közvetlenül szemünk elé, és valami kis tárgyat (például gombostű gömbjét) tartunk olyan közel, hogy a lyukon át tisztán lássuk. — Most vegyük el szemünk elől a lyukas papirost — a gombostűt csak elmosódva látjuk.

Kísérlet. Hunyjuk be egyik szemünket, és miközben csak egy szemmel nézünk, próbáljunk tübe oldalról cérnát befűzni. — Vagy még jobb, ha egy tű lyukát egy másik tű hegyével próbáljuk eltalálni úgy, hogy a tűhegyet oldalról mozzatjuk a lyuk felé (233. ábra).



233. Ha csak egy szemmel nézünk, akkor még a nagy lyukú tű nyílásába sem tudunk oldalról beletalálni egy másik tű hegyével

Sötét környezetben fényesebbnek látszik ugyanaz a fényesség

Kísérlet. Görbítsük be ujjainkat, kezünkből formáljunk tölcserűt, és ennek a nyílásán át nézzünk a szoba falára vagy a mennyezetre.

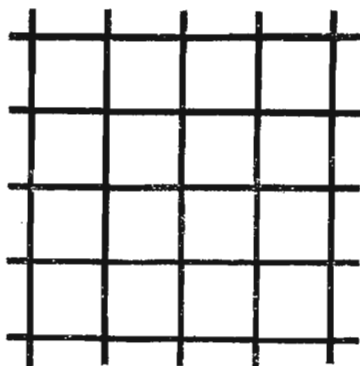
Közben mindkét szemünk legyen nyitva, hogy a másik szemmel szabadon lássuk a falat, és így a szabadon látott fal világosságát össze lehessen hasonlítani a kezünkkel formált lyukon át látott falrész világosságával.

A lyukon át látott kis falrészt meglepően fényesebbnek látjuk.

Ugyanezt a kísérletet úgy is elvégezhetjük, hogy sötét színű (például kék) papírt tekerünk össze cső alakúra, és ezen keresztül nézünk az egyik szemünkkel, a másikkal pedig szabadon.

Ha a szoba sarkába nézünk, vagy más, rosszul megvilágított helyre, ott csak rosszul látjuk a tárgyakat, a részleteket. De ha az előbb leírt módon nézünk oda, szinte kivilágosodik a homályos hely.

1. Kísérlet. A 234. ábrán az egymást derékszögben metsző két vonalrendszer egyenlő vastag vonalakkból áll. — Az ábraalírás útmutatása szerint nézzünk az ábrán végig az egyik vonalrendszer irányában: ezeket a vonalakat sokkal vastagabbnak látjuk, mint a keresztben haladókat (mert a keresztben haladók látószöge kisebb).

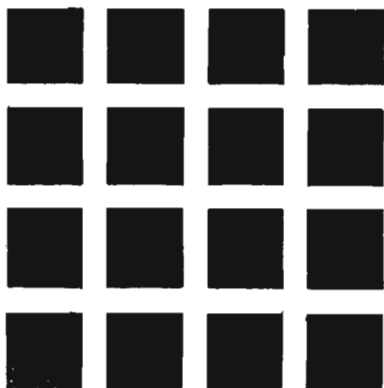


234. Ferdítsük el erősen a könyvlapot szemünk előtt, hogy részsút lássunk az ábrára. Bármelyik vonalrendszer irányában nézzünk, ezeket a vonalakat vastagabbnak látjuk, mint a keresztben haladókat

Ha a másik vonalrendszer irányában nézünk, akkor pedig a másik vonalrendszer látszik vastagabbnak.

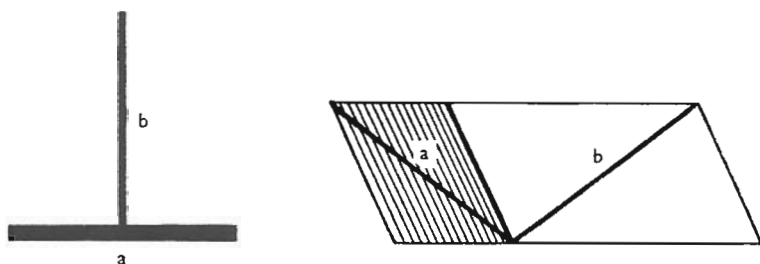
Nézzünk átlós irányban, a vonalakat egyenlő vastagnak látjuk.

2. Kísérlet. Nézzünk a 235. ábrára. A fehér közök keresztvezési helyein elmosódott sötét foltok jelennek meg. — Ha valamelyikre ránézünk, eltűnik, de a többi helyén marad.



3. Kísérlet. A 236. ábrán a „b” vonalak hosszabbnak látszanak, mint az „a” vonalak. — Pedig egyenlő hosszúak.

235. A fehér sávok keresztvezési helyein elmosódott, sötét árnyékot látunk



236. Melyik hosszabb, az „a” vagy a „b” egyenes?

Kísérletek az igen rövid időközök szemléltetésére

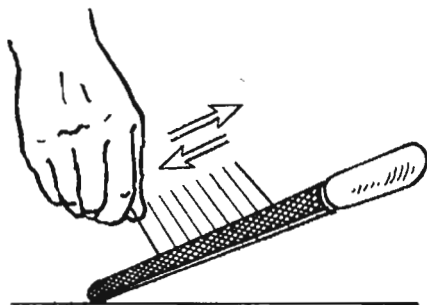
A reszelő és a tű

1. Kísérlet. Vegyünk kézbe egy fényes felületű tűt. Álljunk úgy, hogy az ablak vagy a lámpa fénye jól tükröződjék a tű felületén. A tű hegyét húzzuk végig egy reszelő felületén először lassan, azután gyorsabban, majd pedig elég gyorsan húzogassuk ide-oda. — Igen sok tű képet látjuk (237. ábra). Minél sebesebben mozgatjuk a tűt, ezek a képek annál halványabbak (a háttér legyen sötét).

Magyarázat: a tű hegye mozgatás közben egy-egy pillanatra beleakad a reszelő fogaiba, megáll, aztán továbbugrik. Miközben a tűt gyorsan húzogadjuk ide-oda, elérhetjük, hogy tizedmásodperc alatt 10 tűképet is láthatunk. Ilyenkor egy tűkép keletkezésére legfeljebb egy századmásodperc jut. De a tű felületéről egy századmásodperc alatt visszaverődő fény elegendő ahhoz, hogy a tűt meglássuk. A két tűkép keletkezése között kevesebb idő is elmúlhat, mint egy századmásodperc. — Az egymás után keletkező tűképeket egyszerre látjuk, egymás mellett. Ugyanis időben egymás után, külön-külön csak akkor tudunk meglátni két jelenséget, ha közöttük nem múlik el rövidebb idő, mint 0,1 s.

Miért halványabb a kép, ha sebesebben mozgatjuk a tűt?

237. Húzzunk végig egy tűt a reszelő felületén: sok tűt látunk



Azért, mert eközben rövidebb időre akad meg, és így kevesebb fényt ver vissza szemünkbe. Ha erősítenénk a tűt megvilágító fényforrást, akkor a képek is fényesebbek lennének.

Ez a kísérlet tapasztalati alapot nyújt arra, hogy értékelnünk tudjuk a fényképészek által használt **villanólámpák teljesítményét**. Villanásuk csak kb. **ezredmásodpercig** tart, mégis olyan erős a fény, hogy a megvilágított tárgyat vakító fényben látjuk, és a visszaverődő fény elegendő fényképfelvétel készítéséhez. — Az ilyen felvillanó lámpa 100—500-szor erősebben világítja meg a tárgyat, mint a legerősebb nyári napsütés délben.

Mozgó tárgy a villanylámpa fényében

Kísérlet. Szükséges egy **gyenge fényerejű**, 10-15 W-os hálózati izzó-lámpa és váltakozóáram. Vegyünk kézbe egy hosszúkás, nem vékony, de 1 cm-nél nem is szélesebb, fénylő felületű tárgyat, és tartsuk úgy, hogy visszaverődjék róla a lámpa fénye (például egy zsebkés háta, kis olló hegyes fele, töltőtoll fényes kupakja), és mozgassuk sebesen ide-oda a lámpa fényében. — A háttér, ami előtt a fénylő testet mozgatjuk, legyen sötét. **A fénylő testnek sok, egymástól különálló képét látjuk egyszerre egymás mellett**, éppen úgy, mint az előző kísérletben.

Magyarázat: a lámpát izzító váltakozóáram erőssége másodpercenként 100-szor lesz nulla. Ezekben a pillanatokban tehát nem szabadna

világítania a lámpának. De mivel a lámpa izzószála ilyen rövid idő alatt nem hűl ki teljesen, csupán lecsökken hőmérséklete, azért másodpercenként százszor csökken a lámpa fényereje. A lámpa másodpercenként százszor hol erősebben, hol gyengébben világítja meg a mozgatott tárgyat. Az erősebb felvillanások idején mindig más-más helyen van a tárgy. Ha ezekben a helyzetekben elegendő fény verődik vissza róla szemünkbe, akkor egy időben, egymás mellett a tárgy több képét látjuk.

Gondolkozzunk: miért nem sikerül ez a kísérlet akkor, ha nagyobb gyertyafényű, mondjuk 25 W-os izzólámpa fényében mozgatjuk a tárgyat?

Felelet: minél nagyobb a lámpa fényereje, annál vastagabb a benne levő izzószál, ezért annál kevésbé hűl le a századmásodperces időközökben, annál kevésbé változik a fényessége. Végül a századmásodpercenként egymásra következő fényerőváltozások olyan kismértékűek lesznek, hogy nem vesszük észre őket.

Esőcseppek villámfényben. Ha este vagy éjszaka kinézünk a zuhogó esőbe, észrevehetjük, hogy egy-egy villámlás alkalmával az esőcseppeket külön-külön látjuk, és mintha állnának a levegőben. Ez a tapasztalatunk két meglepő és fontos tényre mutat rá: először is arra, hogy **a villámlás roppant rövid ideig tart**, hiszen ezalatt a sebesen eső vízcseppek nem mozdultak el észrevehetően, másodsor pedig arra, hogy **óriási fényerejű a villám**, hiszen a roppant rövid idő alatt nappali fényt áraszt.

A mérések szerint a villámlás időtartama egy **tízezred** másodperc és egy **százezred** másodperc közé esik, fényereje pedig **több tízezer millió gyertyafény is lehet**. A közeli villámcsapások akkora vagy még nagyobb megvilágítást adhatnak környezetünknek, mint a nyári napfény délben.

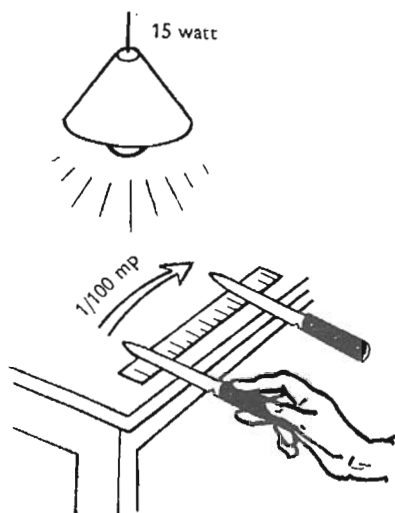
Miközben előző kísérleteinkben a fénylő tárgyat sebesen mozgattuk ide-oda, ugyan milyen sebességű lehetett ez a mozgás a legsebesebb mozgás pillanatában? **Mozgott-e a tárgy a kezünkben olyan sebesen, mint a futó ember vagy mint a személyvonat?**

Erre a kérdésre még csak megközelítő biztonsággal sem tudnánk felelni. Pedig roppant egyszerűen és kielégítő pontossággal megmérhetjük a mozgatott tárgy sebességét a legsebesebb mozgás pillanatában.

Kísérlet. Tartsuk a fénylő és mozgatott tárgyat úgy a 10 W-os lámpa fényében, hogy a legsebesebb mozgás pillanatában jól lássuk a tárgynak két egymás után következő helyzetét. Tegyük a mozgatott tárgy alá egy centiméterskálát. Az osztályzat felett látjuk a tárgy említett két képét. Olvassuk le, hány centiméternyire esnek egymástól (238. ábra).

Egy kísérletben, amikor a lehető leggyorsabban mozgattam ide-oda a tárgyat, a két fénylő kép távolságát 4 cm-nek találtam. Ezt az utat egy századmásodperc alatt tette meg. Ezért 1 másodperc alatt 400 cm = 4 m utat tett volna meg. Sebessége tehát másodpercenként 4 m volt. Óránként pedig 3600-szor több, azaz kb. 14 km. Ily gyorsan könnyen fut az ember, de a személyvonatok átlagos sebessége mintegy kétszer nagyobb.

Tehát kezünk gyorsnak látszó mozgása meglepően lassú.



238. Milyen sebesen mozgattuk a kést?
— Minél kisebb fényerejű lámpát használunk, annál jobban sikerül a kísérlet

Kísérletek a ködfénylámpa villogó fényével

Ha a ködfénylámpát (239. ábra) a hálózati váltakozóáramba kapcsoljuk, akkor fénye másodpercenként 100-szor **teljesen** kialszik. Ezt szemünk nem veszi észre, mert a fényváltozások olyan gyorsan következnek egymás után, hogy az egyik villanás hatása még nem múlt el akkor, amikor a másik már bekövetkezik. — De mivel a teljes

sötétség pillanatai századmásodpercenként következnek egymás után, azért az előző kísérletekben leírt jelenségek még szebbek, és olyanokat is láthatunk, amiket az izzólámpával nem sikerül előállítani.

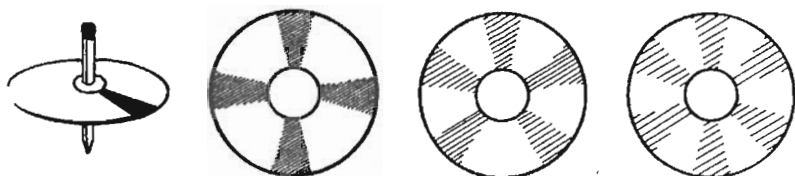
1. Kísérlet. Mozgassunk a ködfénylámpához közel, ide-oda egy kezünkben tartott fényes felületű tárgy úgy, hogy a ködfénylámpa fénye csillogjon rajta. Feltűnően jól látható a tárgyának sok egymás mellett levő képe, amelyeket teljesen sötét közök választanak el.

2. Kísérlet: szakadozott kép a tükörben.

239. A ködfénylámpa. a) méhkas alakú, b) lemezes elektródokkal

Vegyünk kezünkbe egy kis tükört (vagy üvegdarabot), keressük meg benne a ködfénylámpa képét. — Billegessük ide-oda a tükört először lassan, majd gyorsabban. A ködfénylámpa képe ide-oda táncol benne, de nem folytonos fényvonalat ír le, hanem szaggatot-tat, hol látszik a lámpa képe (ekkor világít), hol nem (kialudt).

3. Kísérlet: pörgettyű és a ködfénylámpa. Ragasszunk papírpörgettyűnkre egy sztaniolszalagot sugárirányban (240. ábra). Pörgessük meg a pörgettyűt, és figyeljük korongját, miközben a ködfénylámpa megvilágítja. Forgás közben lesz olyan pillanat, amikor 1 fénylő sztaniolküllő helyett 4-et látunk állni. Néhány másodperc múlva megint úgy látszik, mintha megállt volna a pörgettyű, és felületén 5 álló, fénylő küllő jelenik meg, majd rövid időközök eltelte után 6, 7 stb. küllő. — Minél inkább lassul a korong forgása, a lámpának annál



240. Miközben a korong forgása egyre lassul, egymás után 4, 5, 6, ... küllőt látunk állni a ködfénylámpa fényében

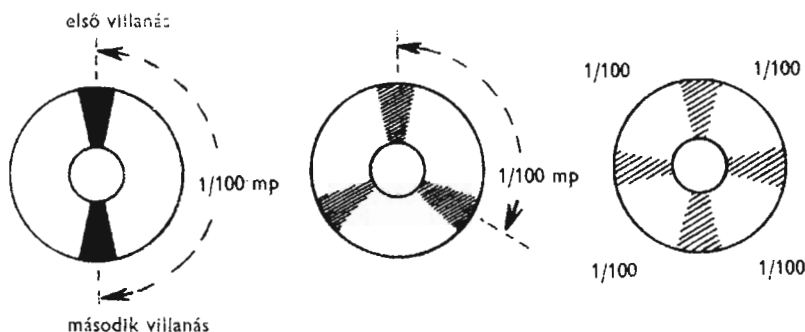
több felvillanása éri a korongot egy fordulat alatt, egyre több helyen jelenik meg a fénylő és állni látszó sztaniolküllő. Minél több küllő látszik, annál gyengébb fényűek.

Mennyi idő alatt fordul egyet a korong?

Bizony, ezt nem is sejtjük. De ha ködfénylámpával világítjuk meg, könnyű megmondani.

Kísérlet. Pörgessük meg jól a korongot. Abban a pillanatban, amikor a korongra festett egyetlen küllő helyett többet látunk állni, figyeljük meg, hogy hány küllő látszik.

Nézzük a 241. ábrásort. Tudjuk, hogy a lámpa felvillanásai századmásodpercenként következnek egymás után. Ha tehát a korongon



241. Ahány küllő látszik egy helyett, annyi a korong egy fordulatához szükséges századmásodpercek száma

két álló küllő jelenik meg, ez azt bizonyítja, hogy a korong egy teljes fordulata alatt kétszer villant fel a lámpa, tehát kétszer telt el 0,01 s. **A korong egy teljes fordulatának ideje $2 \times 0,01 \text{ s} = 0,02 \text{ s}$.**

Most már könnyű azt is megmondani, hogy 1 s alatt hányat fordul a korong. Annyit, ahányszor 1 s-ban megvan 1 fordulat ideje, a 0,02 s. Tehát **a korong fordulatszáma = $1 \text{ s} : 0,02 \text{ s} = 50$ fordulat másodpercenként.**

Az ábrásor következő ábrája azt az esetet mutatja, amikor a ködfénylámpa fényében három álló küllő jelenik meg. Ez azt bizonyítja, hogy a lámpa háromszor villant fel 1 fordulat alatt, tehát háromszor telt el 0,01 s. Egy fordulat ideje 0,03 s.

Egy másodperc alatt pedig $1 \text{ s} : 0,03 \text{ s} = 33$ fordulatot tesz meg a korong.

Végeredményben: ahány küllő látszik állni, annyi századmásodperc alatt fordul egyet a korong. — Ahányszor egy fordulat ideje megvan az 1 s-ban, annyiszor fordul a korong másodpercenként.

Kísérleteimben a legkedvezőbb esetben is 4 álló küllő látszott. Tehát korongom 0,04 s alatt fordult egyet. **Percenként 60-szor több, azaz 60×25 fordulat = 1500 fordulat.**

A fordulatszám csökkenését kitűnően megfigyelhetjük kísérletünkben — mert egyre növekedik a forgó korongon állni látszó küllők száma. Egy-egy új küllő megjelenése azt mutatja, hogy a korong egy-egy fordulatának ideje egy-egy századmásodperccel megnövekedett. Tehát módszerünkkel kitűnően megfigyelhetjük a forgásidőnek egy századmásodperccel való megváltozását is.

A forgások szinkronizálása. A technika történetében gyakran előfordult az a feladat, hogy több, külön meghajtott gépet szigorúan azonos fordulatszámmal kellett járatni. — Hogyan lehet ezt megvalósítani? — A gépek tengelyére egy- vagy több küllős korongokat erősítünk. A korongokat szabályos időközökben villanó fényvel világítjuk meg. A gépek fordulatszámát úgy szabályozzuk, hogy mindegyik korongon ugyanannyi álló küllőt lássunk. Ekkor a gépek fordulatszáma szigorúan egyenlő.

Mekkora fordulatszámokkal találkozunk a technikában? Tengelyénél

fogva megpörgetett papírkorongunk — amint kísérletünk igazolja — 1500-2000-et fordul percenként. Ez nagyon tekintélyes fordulatszám, még a technikában használatos gyors járású gépekhez képest is.

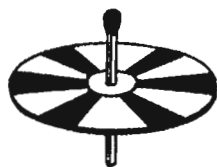
A percenkénti fordulatszám

A normál lemezjátszó	45
Egy gőzhajó propellersavarja	130
A műhelyekben használt villanymotor	1 400
A repülőgép légcsonkja	1 400
A gyors járású robbanómotor	5 000
Gőzturbina, tejszeparátor	6 000
Pörgettyűs iránytű	20 000

Mekkora az a legkisebb fordulatszám, amely szükséges pörgettyűnk stabilitásához?

Az előző kísérletekben használt papírkorong másik oldalára fessünk 6, szimmetrikusan fekvő küllőt (242. ábra).

Kísérlet. Pörgessük meg úgy papírkorongunkat, hogy a hatküllős oldala legyen felül, és nézzük ködfénylámpa fényében. A korong forgása egyre lassul, és egyszer csak tisztán megjelenik a hat küllő — mintha állnának (a fordulatszám e pillanatban $100 : 6 = 16,6$ s-onként). A korong tovább lassul, és egyszer csak 12 álló küllőt látunk a korongon (fordulatszám $100 : 12 = 8,3/s$).



242. Ha a korongra 6 küllőt festünk és sebesen megpörgetjük a korongot, akkor 6, 12, 18, ... álló küllő jelenik meg egymás után, rövid időközökben

Ettől a pillanattól kezdve kezd veszíteni a korong stabilitásából, és csakhamar tántorogva pörög. Eldőlése előtt még sikerül újra álló küllőket látni ($100 : 18 = 5-6$ fordulat/s).

A kísérlet alapján kimondhatjuk, hogy korongunk biztos állásához legalábbis s-onként 5-6 fordulat szükséges.

Mennyi ideig sötét a ködfénylámpa?

Előző kísérleteink azt bizonyították, hogy a ködfénylámpa fénye másodpercenként valóban többször kialszik, ha váltakozóáram halad át rajta. — De mekkora a sötétség időtartama a világosságéhoz képest?

1. Kísérlet. Álljunk a ködfénylámpától néhány lépésnyire, és nézzük a képet a kezünkben tartott zsebtükörben (üveglapocskában). Billegessük úgy a tükröt, hogy a lámpa képe fel-alá táncoljon. Ha szabályosan és gyorsan billegetjük a tükröt, igen jól megfigyelhetjük, hogy a világos képek kétszer olyan hosszúak, mint a sötét közök (243. ábra). — Ebből következik, hogy **a lámpa kétszer annyi ideig fénylik, mint amennyi ideig sötét.** Tehát a lámpa az üzemidő egyharmadában sötét, kétharmadában ég.



243. Az egyenletesen mozzgatott tükörben a lámpa világos fénysávjai kétszer olyan hosszúak, mint a közöttük levő sötét közök

Gondolkozzunk: milyen változást vennénk észre — minden segéd-eszköz nélkül —, ha a lámpa az egész üzemidő alatt égne?

Felelet: fényereje az eredeti fényerőnek kb. a felével növekednék.

Nem változik-e ködfénylámpánk fényereje a világítási szakasz alatt? Hiszen az áram feszültsége nő, majd csökken, és ezért a lámpa fényereje nem maradhat állandó a világítási szakasz egy századmásodpercénél rövidebb ideje alatt sem! De meg tudjuk-e vizsgálni ezt a roppant rövid ideig tartó jelenséget?

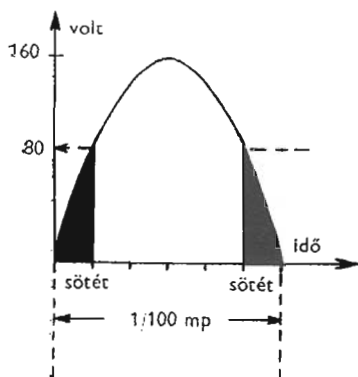
2. Kísérlet. Végezzük el az előző kísérletet, billegessük a tükröt olyan gyorsan, hogy hosszúra húzódjék szét a világítási szakasz fénye, és vizsgáljuk gondosan a keletkezett fénysávot, vajon fényesebb-e egyes helyeken (főleg a középen), mint a széleken?

Azt látjuk, hogy a fénysávnak csak a két legvége halványabb (a lámpa kigyulladásának és elalvásának pillanatában) — különben a hosszú fénysáv mindenütt azonos fényességűnek látszik, tehát a hálózat feszültségének növekedésével nem változik jelentősen a lámpa fénye.

Hány volton alszik ki a lámpa?

Tegyük fel, hogy a lámpa ugyanakkora feszültségen gyullad ki, mint amekkorán elalszik, és hogy a feszültség képe olyan, mint a 244. ábrán látható, továbbá, hogy az egyszázad másodperc egyharmad részéig sötét a lámpa kísérletünk szerint. Akkor az ábráról azonnal

leolvasható, hogy a sötét szakasz végén a lámpa kb. akkor gyullad ki, amikor a feszültség eléri a 80 V-ot, és akkor alszik ki, amikor a feszültség 80 V-ra csökken.



244. Egyszerű kísérletünk alapján a ködfénylámpa kigyúlási (kialvási) feszültségét is leolvashatjuk közelítőleg az ábráról

Bevont felületű-e a fénycső?

Egyre jobban terjednek a hosszú, cső alakú, gáztöltésű fényforrások. Könnyű egy tükörrel vagy üvegdarabbal meggyőződni róla, hogy tiszta vagy bevont falú-e a fénycső — mint a közismert, fehér fényű fluoreszcens csövek.

Kísérlet. A kezünkben tartott tükörben megkeressük a fénycső képét, és billegetjük a tükröt. — Ha teljes elsötétedéseket figyelhetünk

meg, akkor a csó fala nincs fluoeszkaló anyaggal bekenve, de ha csak kismértékű a tükörben látott kép fényerősség-változása, akkor a csó belső felületén fluoeszkaló anyag van, amely **tovább fénylik az áram pillanatnyi szüneteiben**, ezért nem alszik ki teljesen a csó fénye.

VI. KÍSÉRLETEK A MÁGNESÉGRE

A vízen úszó iránytű

Mindenütt található elhasznált borotvapenge vagy iratkapocs. Ezeket senki sem mágnesezte meg előzőleg, mégis nagy részük mágnességet mutat.

1. Kísérlet: borotvapengével. Egy üveg pohárban vagy porcelán tányérban levő víz felületére fektessünk lapjával egy borotvapengét. Lehet, hogy egy bizonyos irányba áll be, és oda visszatér akkor is, ha kimozdítjuk. Ekkor a penge mágneses.

Ha találunk egy ilyen pengét, akkor a több borotvapengéről gyorsan megállapíthatjuk, hogy mágnesesek-e, mert csak közelíteni kell egyik, majd másik végüket a vízen úszó pengéhez. Ha taszítást is tapasztalunk, akkor biztos, hogy a kezünkben tartott penge is mágneses.

2. Kísérlet: iratkapoccsal. Ugyanígy járhatunk el az iratkapoccsal is. Ezt a nehéz kapcsot is úszatni lehet a vízen, ha egy kis meghajlított drótdarabka segítségével eresztjük rá a víz felületére. A legtöbbször ez is egy határozott irányba áll be a víz felületén.

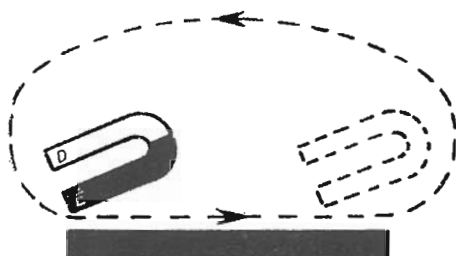
Miért mágnesesek ezek a fémek, noha senki sem mágnesezte meg őket?

Okát később megtudjuk.

Az előre meg nem mágnesezett borotvapenge és iratkapocs csak gyenge mágnességet mutat. Ha erősebb mágnességgel akarunk kísérletezni, akkor szükségünk lesz egy mágnespátkóra. Vele erősebb mágnességet adhatnak a vastárgyaknak. (Kis mágnespátkó vasboltban olcsón kapható.)

3. Kísérlet: így kell mágnesezni. Ha egy borotvapengét vagy más acéltárgyat meg akarunk mágnesezni, akkor nem szabad összevissza húzgatni rajtuk a mágneses sarkokat, hanem a 245. ábra szerint a mágnesnek mindig csak az **egyik** sarkával húzunk végig a tárgyon, és a levegőben nagy körívben térünk vissza, hogy a végighúzásokat 20-30-szor megismételjük.

Ha az így mágnesezett borotvapengét tesszük a víz felszínére, azonnal, határozottan beáll az észak—dél irányba. — A tűt (lehetőleg nagy zsákvarrótűt) pedig parafadugón szúrjuk át, és így úsztatjuk a vízen. Ez is azonnal beáll észak—dél irányba. — A tű mindkét végére is szúrhatunk egy-egy dugódarabkát.



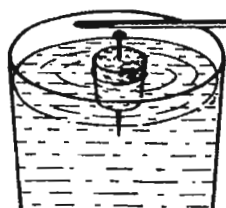
245. Így mágnesezzünk

4. Kísérlet: a mágnesség alaptörvénye. A mágnesezett és vízen úszó borotvapengéknek (vagy tűknek) észak felé mutató végét jelöljük meg valamiképpen. Nevezzük ezt a véget északi mágnességűnek, a másik végét pedig déli mágnességűnek.

Az egyik penge úszik a vízen, a másikat fogjuk kézbe, és megjelölt végével közeledünk az úszó penge megjelölt végéhez: az északi mágnességű tasztítja az északi mágnességet (a déli a délit). Az **egynemű mágnességek tasztítják egymást.**

Ugyanígy kimutathatjuk, hogy az ellenkező nemű mágnességek vonzzák egymást (északi a délit).

5. Kísérlet: a mágneses pólus (sarok). Hol a legnagyobb fokú a mágnesezett borotvapenge vagy varrótű (kötőtű) mágnessége? Azt gondolnánk, hogy a legvégén. De könnyen ki lehet mutatni, hogy nem ott.



246. Így keressük meg a mágnesezett kötőtű (vasszeg) mágneses sarkainak helyét

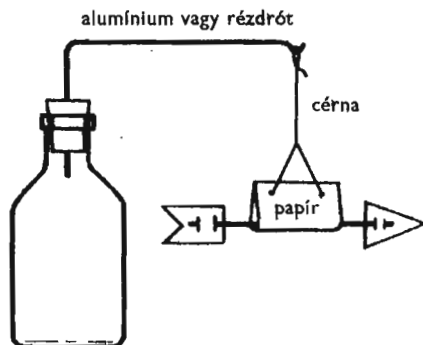
Egy gombostűt mágnesezzünk meg, szúrjuk át parafadarabkán, és úgy úsztassuk a vízen, hogy a tű függőlegesen álljon. Tegyük fel, hogy a tűnek a déli mágnességű része áll ki a vízből (246. ábra).

Toljunk föléje egy mágnesezett szeg (drót vagy borotvapenge) északi mágnességű végét. Azt látjuk, hogy a gombostű igen határozottan beáll a föléje dugott mágnesezett tárgy egy bizonyos pontja alá, de ez a pont nem a szeg végén van, hanem valamivel beljebb. Ez a mágneses pólus (sarok).

Készítsünk függő mágnesűt

Sokkal kényelmesebben kísérletezhetünk, ha a mágneses tárgyat nem vízen úsztatjuk, hanem felfüggesztjük.

Egy esernyődrót-darabka kitűnően megfelel erre a célra. Az esernyődrót jó minőségű acélból készült. Ha egyszer megmágnesezzük, mág-



247. Egyszerűen készíthetünk függő mágneses iránytűt

nességét hosszú ideig megtartja (a kötőtű nem tartja ilyen sokáig mágnességét). De használhatunk másféle acéldrót- vagy órarugó-darabkát is.

A megmágnesezett drótdarabkát a 247. ábra szerint papírkengyelbe dugjuk (a papírt néhány öltéssel összevarrjuk), és cérnaszálon egy tartóra felfüggesztjük.

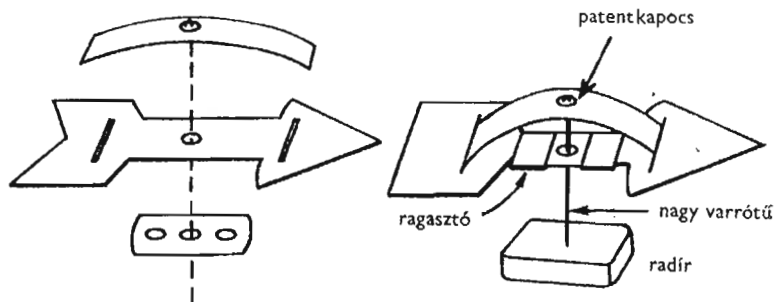
Íránytűnk tartója egy literes üveg dugójába szúrt vastagabb alumínium drót. Fontos, hogy ez a tartódrót alumínium vagy réz legyen, tehát olyan anyag, amelyet **nem** lehet mágnesezni (ha vasdrót lenne, akkor vonzaná a mágnesűnket, befolyásolná annak elhelyezkedését).

Csinosabb íránytűnk, ha a végére papírból nyilat tűzünk.

Tűhegyen forgó íránytű

A 248. ábra mindent megmagyaráz. Maga a mágnesű egy jól megmágnesezett borotvapenge.

Kartonpapírból olyan széles szeletet vágunk ki, mint maga a penge. A papír közepébe vágott kis nyílásba patentkapcsot csíptetünk. Ennek lyukába nyúlik majd bele a tű hegye. A papírszeletet ezután ív alakúan meghajlítjuk, és a két végét körültekert ragasztópapírral a borotvapengéhez ragasztjuk, mint a 253. ábrán látható, vagy pedig a pengéhez erősített papírnyílhoz, a 248. ábra szerint. Ügyeljünk arra, hogy a patentkapocs lyukja a penge középső, kör alakú nyílása fölött legyen.



248. Tűhegyen forgó, borotvapengéből készült íránytű

Egy radírgumin keresztül varrottút szúrunk úgy, hogy a varrottú függőlegesen álljon. Ennek a hegyére tesszük iránytűnket. Mivel a súlypontja mélyen az alátámasztási pont alatt van, azért biztosan áll, és mivel a tűhegy és a patentkapocs között a súrlódás kicsi, könnyen forog.

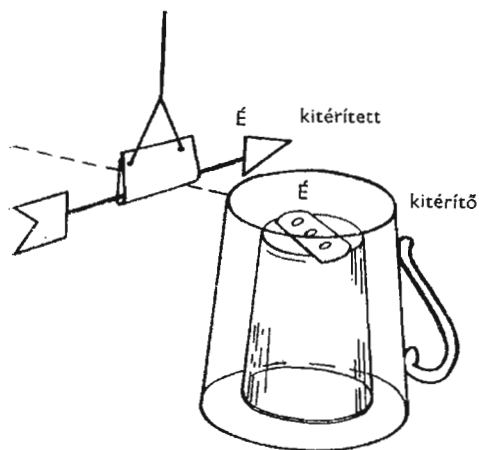
Ha a 253. ábra szerint készítjük az iránytűt, színes papírból még egy nyilat is tehetünk alája, amit megint körültekert ragasztópapírral erősítünk a pengéhez.

Erősebb mágnességű iránytűt úgy készíthetünk, hogy 3-4, **külön-külön jól megmágnesezett** borotvapengét helyezünk egymásra, és körültekert ragasztópapírral összefogjuk őket. Vigyázzunk, hogy a pengéknek azonos sarkai fekjüdjenek egymás fölött.

Iránytűnk nemcsak az észak—dél irány mutatására alkalmas, hanem segítségével tanulságos kísérleteket végezhetünk a mágnességre.

A mágneses erő áthatolása különböző anyagokon

Patkómágnesünket vagy a mágnesezett borotvapengét tegyük felfordított pohár (papírdoboz) tetejére, és térítsük vele jól ki a mágnesünket.



249. Ha a kitérítő mágneset alumínium vagy porcelán bögrével leborítjuk, a mágneses hatás nem csökken

1. Kísérlet: a mágneses erő útjába nem mágnesezhető anyagokat teszünk.

a) A kitérítő mágnes és a kitérített iránytű közé dugjunk falapot, papírlapot, füzetet, akár vastag könyvet: a kitérés **nem** változik. A mágneses erő úgy áthatol ezeken az anyagokon, mintha ott se volnának.

b) Borítsuk le egészen a kitérítő mágnest valamilyen edénnyel, fazékkal. Például leboríthatjuk nagyobb porcelán bögrével vagy vastag alumínium edénnyel. — A kitérés **nem** változik. A mágneses erő nem gyengül (249. ábra).

A mágneses erő gyengítetlenül hatol át a nem mágnesezhető anyagokon. A vastag fa, papír, porcelán, alumínium, réz, éppen olyan átlátszó a mágneses erő számára, mint az üveg vagy a tiszta víz a fény számára.

2. Kísérlet: a mágneses erő útjába mágnesezhető anyagot teszünk.

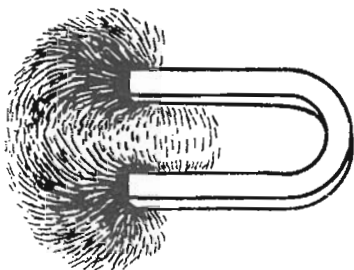
a) Tartsunk vaslemezt vagy ónozott bádoglemezt a két mágnes-sarok közé: a mágnesű kitérése csökken. Az erő gyengült.

b) Zárjuk be egészen a kitérítő mágnest. Borítsuk le egy üres konzervdobozzal vagy zománcozott bádogbögrével: a mágnesű kitérése jelentékenyen csökken.

Minél vastagabb falú vasedénybe zárjuk, annál inkább csökken a kitérés.

A mágneses erő a vason át csak gyengülve halad át. A kellőképpen vastag vaslemez átlátszatlan a mágneses erő számára.

A mágneses erő vonalait láthatóvá tesszük



Mágnespatkót fedjünk le kartonlappal vagy üveglemezzel. Szórjunk vasreszeléket a lapra. A vasreszelék szemcséi a mágneses erővonalak mentén helyezkednek el (250. ábra).

250. A patkómágnes erővonalai

Hogyan lesz mágneses a nem mágneses vasdarab?

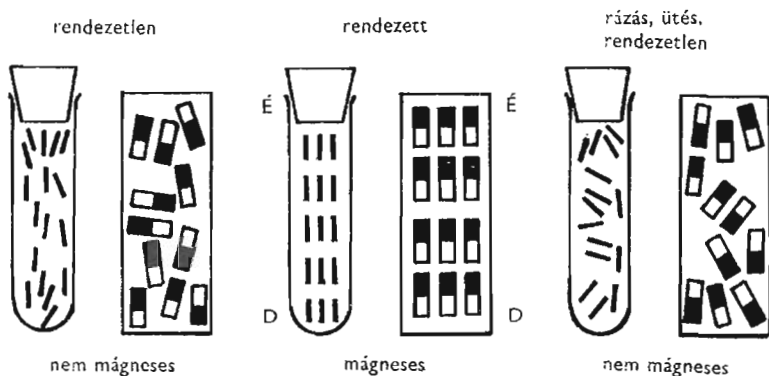
1. Kísérlet. Egy orvosságos fiolát vagy kémcsövet megtöltünk vasreszeléssel (a vaspapír nem alkalmas). A cső végét dugóval zárjuk el. Vizsgáljuk meg mágnességét. Nem mutat mágnességet, mert a cső minden része vonzza a mágnesűt.

Húzzunk néhányszor végig a csövön patkómágnesünk egyik sarkával. Vizsgáljuk meg újra mágnességét. A cső mindkét vége mágnességet mutat, két különbözőképpen viselkedő sarka van.

Magyarázat: a vasreszelék-szemcskék kis mágnesekké lettek. Amikor a mágnessel végighúztunk a csövön, a szemecske mágnesek rendeződtek, egy irányba fordultak.

2. Kísérlet. Húzzuk ki kissé a dugót. Rázzuk össze a csőben a vasreszeléket. Vizsgáljuk meg mágnesűnkkel. Elveszítette mágnességét. Ugyanis a mágneses kis szemcskék újra összevissza állnak, kifelé nem mutatnak mágnességet.

Úgy gondoljuk, hogy a mágnesezhető anyagok (például a vas) parányi, néhány molekula nagyságú elemi mágnesekből állnak. Ha a



251. A mágnesség molekuláris elmélete. — Ha a vasreszelékkel telt csövön a mágnessarokkal végighúzzunk, a kis mágnesekké lett vasszemcskék rendeződnek. A cső mágnessé lesz. Ha a vasreszeléket összerázzuk, a cső nem mutat mágnességet. — Hasonlóan képzeljük el a vasdarab mágneseződését is: a belsejében levő elemi mágnesek rendeződnek

vas nem mágneses, akkor az elemi mágnesek minden lehetséges irányban helyezkednek el, rendezetlenek (251. ábra). De ha mágnessel végighúzzunk a vason, akkor az elemi mágnesek beállnak a mágneses tér irányába. Ily módon a vasdarab egyik végén északi, a másik végén déli mágneses sarkok keletkeznek (a vas belsejében az egymás mellé kerülő ellentétes mágneses sarkok lerontják egymás hatását). A mágneses sarkok annál erősebbek, minél több elemi mágnes áll be a mágneses tér irányába.

Ha valamiképpen sikerül az elemi mágneseket ismét rendezetlen állapotba hozni, a vas elveszti mágnességét.

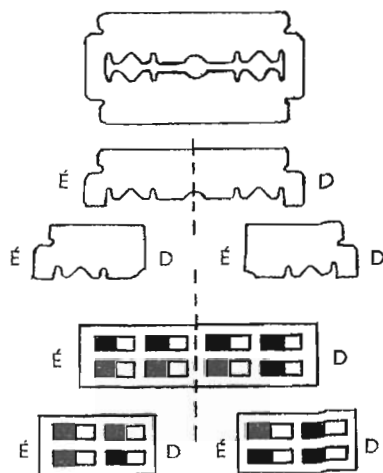
A mágnesség fenti elmélete alapján könnyű megmagyarázni következő kísérletünket.

Lehetetlen egysarkú mágnest készíteni

Kísérlet. A kék acélból készült vékony borotvapengék könnyen törhetők. Törjük szét egyet hosszában (252. ábra), és a fél pengét mágnesezzük meg. Lesz egy északi és egy déli sarka.

Törjük két részre a fél pengét. Ezzel nem sikerül az északi és a déli

mágnessarkot szétválasztani, mert mindegyik darabnak megint csak két különféle sarka lesz, amiről mágnesűvel meggyőződhetünk.



Magyarázat: Ha a 252. ábra szerint a szaggatott vonal mentén szétválasztjuk az elemi mágnesek rendezett sorát, a szétválasztó vo-

252. Ha a mágnesezett borotvapengét részekre törjük, a részecskék mindig kétsarkú mágnesek lesznek. Nem sikerül a mágneses sarkokat szétválasztani. — Ez a mágnesség molekuláris elméletéből következik

nal egyik oldalán az elemi mágnesek egyik sarka, a vonal másik oldalán pedig a másik sarka marad szabadon. Ezért a szétválasztás helyén új mágnessarkok alakulnak ki.

A mágneses megosztás

Kísérlet. Szükséges egy 7-10 cm hosszú vastag vasszeg, amely **nem** mágneses. Tartsuk ezt függőleges helyzetben úgy, hogy alsó vége egy mágnestű vége előtt legyen. A szeg mint vas vonzza a mágnestű sarkát.

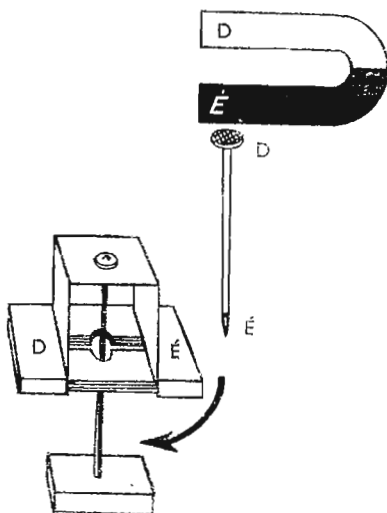
Közeledjünk egy patkómágnes északi sarkával a szeg felső vége felé — de ne érjünk hozzá. A szeg alsó vége eltaszítja a mágnestű északi sarkát — maga is északi mágnességű lett (253. ábra).

Vegyük el a patkómágneset. Az iránytű visszatér eredeti helyzetébe, tehát a szeg ismét elvesztette mágnességét.

Magyarázat: a patkómágnes irányító hatására a szegben levő elemi mágnesek bizonyos mértékig rendeződnek — mágneses sarkok alakulnak ki a vasszegben. Amikor elvesszük a megosztást okozó patkómágneset, akkor az elemi mágnesek ismét visszatérnek az eredeti rendezetlen helyzetükbe, a vasszeg nem mutat mágnességet.

Érdekesen bizonyítja a kísérlet azt, hogy az elemi mágneseket valami rugalmas erő húzza vissza eredeti helyzetükbe, mert hiszen oda visszatérnek a kitérítő erő megszűnte után. A lágyvas elveszti mágnességének legnagyobb részét — de nem az egészet. **Valami csekély mágnesség visszamarad a lágyvasban (remanens mágnesség).**

253. A mágneses megosztás. A nem mágneses vasszeg mágnessé lesz akkor is, ha csak a közelében tartunk egy mágnessarkot



1. Kísérlet: az ütögetés megkönnyíti az elemi mágnesek rendeződését.

Tegyük tenyerünkre a nem mágneses lágyvaszeget (254. ábra). Azután kezünket úgy tartjuk egy patkómágnes sarka fölé, hogy a vasszeg a mágneses sarok fölött legyen (tőlük 2-3 cm távolságra). Egy ceruzával ütögetjük a vasszeget néhány másodpercig. Utána mágnesűvel vizsgáljuk meg mágnességét.

Azt találjuk, hogy a vasszeg mágnessé lett. A szegnek az a vége, amely a mágnes északi sarka felett volt, déli mágnességet mutat.



254. Ütögetjük fapálcikával a tenyerünkön levő és patkómágnes sarkai fölé tartott vasszeget. Rendeződnek a benne levő elemi mágnesek. A vasszeg mágnessé lesz

Most újra fektessük tenyerünkre a szeget, de úgy, hogy ellenkező irányban fekdjön, mint előbb. Ismét ütögetjük meg. A szeg mágneses sarkai felcserélődnek. — Az elemi mágnesek most ellenkező irányban rendeződtek.

Ily módon a mágneses lágyvaszeget ismét nem mágnesessé is tehetjük.

2. Kísérlet. Tartjuk a tenyerünkön fekvő, nem mágneses vasszeget ismét a patkómágnes fölé, ugyanakkora távolságban a sarkoktól, mint előbb, de most ne ütögetjük. — Azután vizsgáljuk meg mágnesűnkkel azt, hogy a szeg mágneses lett-e?

Azt tapasztaljuk, hogy vagy egyáltalán nem lett mágneses, vagy pedig sokkal kisebb mértékben, mint akkor, ha ütögettük. Az ütögetés megkönnyíti az elemi mágneseknek, hogy a mágneses erőter irányában helyezkedjenek el.

3. Kísérlet: rázással megszüntetjük a mágnességet. Vasszegünk nagyon gyengén legyen mágneses. Egyik vége éppen hogy taszítsa kissé mágnesűnk északi sarkát.

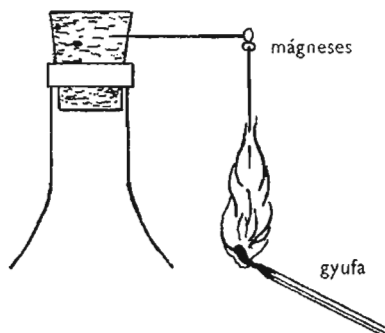
Tegyük tenyerünkre ezt a szeget, és (minden mágnesűl távol)

ütögezzük egy fadarabbal. — A vasszeg elveszti mágnességét (mindkét vége vonzza az irányítú északi sarkát). Ütögetés közben az elemi mágnesek rendezetlen állapotba kerültek.

A melegítés gyengíti a mágnes

Egy barátom mesélte: kitűnő mágneshez jutott, műszerbe akarta építeni, de ehhez szükséges volt, hogy a mágnesen lyukat fúrjanak. A műhelyben felizzították a kemény mágnesacélt, hogy könnyebb legyen a fúrás. A lyuk sikerült, de a mágnesség eltűnt.

Ha egy testet melegítünk, akkor molekuláinak mozgása egyre gyorsabb, egyre hevesebben ütköznek össze egymással. A hatás olyanforma, mintha ütögetnénk a testet. Melegítéskor tehát a testnek el kell veszítenie a mágnességét, vagy a mágnességnek lényegesen gyengülnie kell.



255. Izzítsuk fel gyufalánggal a mágneses gombostűt. Elveszíti mágnességét, leesik

Kísérlet: egyetlen szál gyufával kimutatjuk, hogy az izzított acél elveszti mágnességét. Egy üveg parafadugójába szúrunk be oldalról egy **nem** mágneses gombostűt. — Egy másik, mágnesezett gombostű fejt érintsük a beszúrt gombostűhöz. A második gombostűt a mágneses erő függve tartja (255. ábra).

Egy szál égő gyufát tartunk a függő gombostű alá. Még egészen el sem ég a gyufa, a gombostű lepottyan, mert elvesztette mágnességét. — Gyufa helyett gyertyalánggal is felizzíthatjuk a gombostűt.

Először **P. Curie**, a rádium felfedezője állapította meg azt, hogy 690 °C és 870 °C között (vasfajtától függően) a vas elveszti mágnesezhetőségét.

VII. KÍSÉRLETEZZÜNK ELEKTRONOKKAL — ELEKTROMOSSÁGGAL

Elektromozás dörzsöléssel

Mindenütt elektromosság

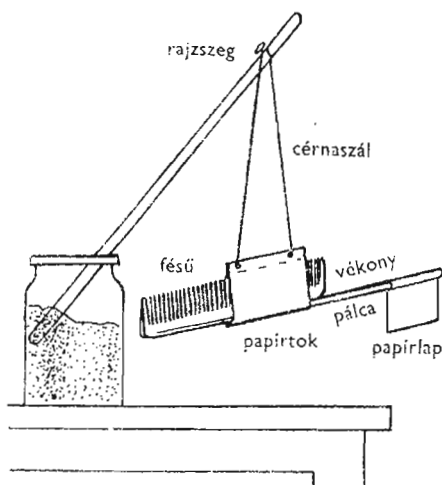
Hozzászoktunk, hogy az elektromosságot a világítási hálózatban és az elemekben, például a zseblámpaelemben keressük. Pedig a környezetünkben mindenütt van elektromosság, bármerre nézünk is, elektromos jelenségeknek lehetünk tanúi. Miközben írunk, a papír és a ceruzánk ellenkező elektromosságú lesz, a papíron csúszó bőrünk és a papír hasonlóképpen. Írás közben összehúzódnak izmaink, elektromos feszültség, elektromos áram keletkezik. Fejem felett ketyeg az óra: ingájában, mozgó kerekeiben elektromos áramok folynak, mert metszik a Föld mágneses erővonalait. Ha látszólag pihenünk, akkor is elektromos töltéseket okoz, elektromos áramokat kelt szívünk minden dobbanása, vérünk sűrűsödése a vérerek falán, és így tovább.

Az elektromosságnak ezt a mindenütt jelenlevő, mindenütt ható világát akarjuk kísérleteink alapján megismerni, mégpedig olyan kísérletek alapján, amelyeket magunk végezhetünk el minden különleges műszer, minden közügyesség vagy különös anyag nélkül.

Bármilyen egyszerűnek látszanak is majd ezek a kísérletek, igazi átélte tudást adnak.

A fésűelektroszkóp

Szemmel nem látható, hogy egy test elektromos-e vagy sem. Ez volt az egyik oka annak, hogy az ember csak olyan későn szerzett tudomást az elektromos jelenségek gazdag birodalmáról. Szükségünk van tehát egy eszközre, amely szemmel láthatóvá teszi előttünk, hogy egy test elektromos-e vagy sem, mennyi és milyen elektromosság van benne?



256. Elektromos kísérleteinkben kitűnően felhasználható eszköz a fésű-elektroszkóp. Megmutatja azt, hogy egy test egyáltalában elektromos-e, és azt is megmutatja, hogy milyen egy test elektromossága: pozitív-e vagy negatív. — A fésűt, a pálcikát erősítsük néhány öltéssel a papírtokhoz

Pillanatok alatt készíthetünk egy ilyen egyszerű, mindig biztosan működő és érzékeny eszközt. A 256. ábra mindent megmagyaráz. Szükséges hozzá egy fésű (műanyagból készült). A fésűt keményebb papírból (például rajzlap) készült tokba dugjuk. A papírtokot a beléje fűzött cérnaszálakkal felakasztjuk valamilyen farúdra.

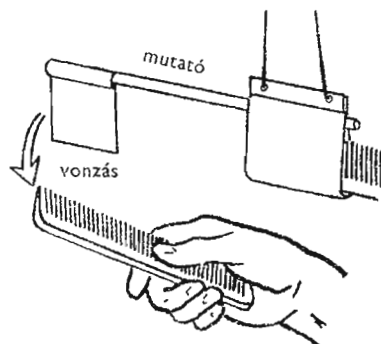
Hogy a fésű elmozdulásai jól láthatók legyenek, a fésű mellé a papírtokba egy könnyű mutatót is tűzünk. Ez lehet fapálca, hurka-pálca vagy nádszál. A mutató végére, az ábra szerint, egy papírlapot ragasztunk és tekerünk. Ez a papírlap nagyon fontos része az eszköznek, amint a kísérletekből kiderül.

A mutatót és a fésűt erősítsük néhány cérnaöltéssel a papírtokhoz — ezzel kész az elektromosságot kitűnően kimutató eszközünk: a fésűelektroszkóp (256. ábra).

A fésűelektroszkópot tartó farudat dugjuk befőttesüvegbe. Szükség esetén a befőttesüvegbe homokot is önthetünk, hogy biztosabban álljon. (Vigyázat: Nem minden műanyagból készült fésű alkalmas a kísérlet elvégzésére. Dörzsöljük meg száraz papírral és ha egy kis papírszeletkét magához vonz, akkor alkalmas a fésű.)

Az elektromos állapot

Kísérlet. Dörzsöljünk meg száraz papírdarabbal egy másik fésűt (vagy száraz fogkefeyelet, vagy gyertyát, vagy műanyagból készült poharat). Közelítsük a megdörzsölt testet eszközünk mutatójának végén levő papírdarabhoz: a papírlapot vonzani fogja, eszközünk mutatója elfordul (257. ábra).



257. Közelítsük a megdörzsölt fésűt a papírzászlóhoz. A fésű magához vonzza, a fésűelektroszkóp elfordul

A mutató végén levő papírlap nem elektromos, azt mondjuk róla, hogy természetes vagy semleges állapotban van.

A megdörzsölt anyagokról pedig azt mondjuk, hogy elektromos állapotban vannak, mert vonzzák a semleges állapotban levő testet (a papírlapot).

Ha meg **nem** dörzsölt testtel közeledünk a mutató végén levő papírlaphoz, a test nem fogja vonzani a papírlapot. Ez természetes, hiszen a test csak a dörzsölés útján jut elektromos állapotba.

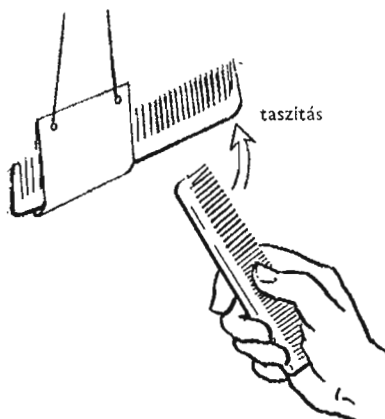
A kétféle elektromos állapot

Előző kísérletünk azt mutatta, hogy a megdörzsölt fésű, a megdörzsölt fogkefeyél, gyertya, műanyag — mindegyik elektromos lett a dörzsölés miatt. Most az a kérdés, hogy egyforma-e az elektromosságuk?

Ennek a kérdésnek az eldöntésére az elektroszkóp fésűs végét használjuk fel. Dörzsöljük meg az elektroszkóp fésűjének a papírtokból kiálló végét száraz papírral. Az elektroszkóp használatra kész.

Kísérlet. Közeledjünk az elektroszkóp megdörzsölt fésűjéhez egy másik megdörzsölt fésűvel — a két fésű taszítja egymást (258. ábra). Taszítást tapasztalunk akkor is, ha száraz papírral dörzsölt gyertyával, fogkefényéllel, műanyaggal közeledünk az elektroszkóp megdörzsölt fésűjéhez.

A papírral dörzsölt fésűkben ugyanolyan elektromos állapot keletkezik. A fésűk taszítják egymást. Tehát kimondhatjuk, **hogy azok a testek, amelyeknek elektromosságuk ugyanolyan — taszítják egymást.**



258. A száraz papírral dörzsölt fésű taszítja az ugyancsak papírral dörzsölt másik fésűt

Mivel a papírral dörzsölt gyertya, műanyag fogkefényél is úgy viselkedik, mint a papírral dörzsölt fésű, ebből következik, hogy elektromosságuk is ugyanolyan, mint a fésűé. Azokról a testekről, amelyeknek elektromossága olyan, mint a papírral dörzsölt fésű elektromossága, azt mondjuk, hogy **negatív elektromosságúak.**

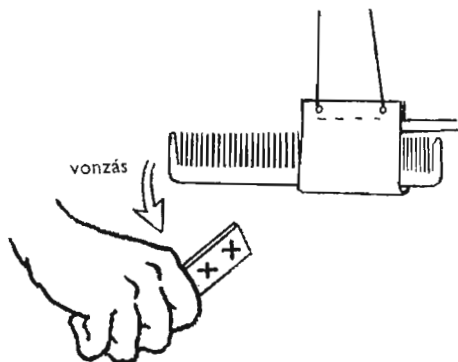
Most megismerünk egy másikfajta elektromos állapotot is.

Keressünk elő egy üvegcsikot, amit az ablak üvegezésekor szoktak levágni. Ha nincs, megfelel egy üres orvosságos fiola vagy kémcső is. A lényeges csak az, hogy az üveg felületét jól tisztítsuk meg, és hogy az teljesen száraz legyen. Melegítsük meg jó langyosra az üveget.

Kísérlet. Dörzsöljük meg a száraz üveget száraz papírral. Közelítünk az üveggel az elektroszkóp megdörzsölt fésűjéhez! Vonzza a fésűt. Tehát a száraz papírral dörzsölt üveg éppen ellenkezően viselkedik, mint a száraz papírral dörzsölt fésű vagy gyertya (259. ábra).

A száraz papírral dörzsölt üveg elektromosságát pozitívnak nevezzük.

Bármilyen két anyagot dörzsölünk is össze (ezt később látni fogjuk), mindegyik anyag elektromossá lesz. Mégpedig vagy olyan elektromosságot mutat, mint az üveg, vagy olyat, mint a fésű. Tehát természetben csak ezt a kétfajta elektromosságot ismerjük.



259. A száraz papírral dörzsölt üveg vonzza a száraz papírral dörzsölt fésűt

Összegezzük eddigi eredményeinket:

1. Bármilyen két testet dörzsölünk össze, mindegyik elektromos lesz.

2. Az elektromos test a nem elektromos testet magához vonzza.

3. Az ugyanolyan fajta elektromosságot tartalmazó testek taszítják egymást, a különböző fajta elektromosságot tartalmazó testek pedig vonzzák egymást.

4. A papírral dörzsölt fésű elektromosságát negatívnak ($-$), a papírral dörzsölt üveg elektromosságát pedig pozitívnak ($+$) nevezzük.

Gondolkozzunk: elektromos-e az a test, amely elektroszkópunk megdörzsölt fésűjét vonzza?

1. Nem biztos, mert ha tenyerünket tartjuk melléje, tenyerünk felé is elmozdul a fésű, pedig kezünk nem elektromos.

2. Hogyan ismerjük fel elektroszkóppal biztosan azt, hogy egy test elektromos-e?

A biztos elektromos állapot jelzésére a mutató végén, a semleges állapotban levő papírlap szolgál. Ha a papírlap elmozdul az odatartott test felé, akkor a test biztosan elektromos.

3. Hogyan ismerjük fel elektroszkóppal azt, hogy egy test milyen elektromosságú?

Ha már a papírlap biztosan elektromosnak mutatta, akkor a testet az elektroszkóp megdörzsölt fésűjéhez közelítjük. Ha a fésűt taszítja, akkor negatív (-), ha vonzza, akkor pozitív (+) elektromosságú.

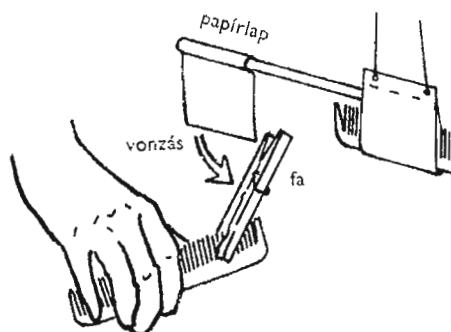
4. A szíjhajtásos gépek gépszijából néha szikrák ugranak ki. Ezek már sokszor okoztak robbanást, tüzet. Miért lesz a gépszij elektromos?

Mert a szij csúszik a kerék peremén, dörzsölés közben elektromos lesz.

Kísérleteink és a köznapi tapasztalatok azt mutatják, hogy dörzsöléskor bizonyos anyagok, például fésű, üveg, papír, elektromosak lesznek. — De joggal kérdezhetjük, hogy **kivétel nélkül minden test elektromos lesz-e dörzsöléskor**, vajon ez az anyag általános tulajdonsága-e? Valószínűleg még egyikünk sem tapasztalta, hogy a megdörzsölt fa vagy a megdörzsölt alma, kenyérdarab vagy fém elektromos lesz. Ki tudjuk-e mutatni egyszerű kísérlettel ezek elektromosságát is? — Igen!

A dörzsölt fa elektromos

Kísérlet. Kötözzünk rá egy fésűre egy fadarabot, vagy csiptessünk rá egy ruhacsipeszt (260. ábra). Ha a fadarabot fésűelektroszkóppal papírlemezéhez közelítjük, természetesen, hogy nem vonzza a papírt, mert a fa nem elektromos. Simítsunk most a fával végig száraz hajunkon vagy szőron, prémadarabon — de vigyázzunk, hogy miközben a fésűt fogjuk, kezünk ne érjen hozzá a fadarabhoz.



260. A fésűre csíptetett, utána hajunkhoz simított fadarab vonzza a fésűelektroszkóp papírlapját, tehát a fa elektromos

Közelítsük a megdörzsölt fadarabot fésűelektroszkópunk papírlemezéhez. Vonzza a papírt, tehát a fa elektromos.

Vajon milyen elektromossággal van töltve a fadarab? — Hogyan történik ennek megállapítása? Erre a célra elektroszkópunk függő fésűje szolgál. Simítsuk végig száraz papírral vagy szövettel, szőrrel a fésűt, — biztos, hogy negatív elektromosságú lesz.

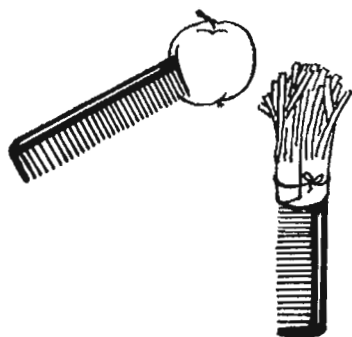
Közelítsük a megdörzsölt fadarabot az elektroszkóp fésűjéhez: taszítják egymást. Tehát a megdörzsölt fa ugyanolyan elektromosságú, mint a fésű. A szőrrel dörzsölt fa negatív elektromosságot mutat.

Az elektromos alma és kenyér

Kísérlet. Az almát tűzzük fésű végére (vagy eldobásra ítélt fogkefe nyelére).

A fésűt fogjuk (az almához hozzá ne érjünk), és az almával simítsunk végig száraz hajunkon — vagy más haján. Közelítsük az almát fésűelektroszkópunk papírzászlócskájához — vonzza azt. Tehát az alma elektromos.

Milyen elektromosságú az alma? — Ezt úgy tudjuk meg, hogy a megdörzsölt almát az elektroszkóp száraz papírral dörzsölt (negatív töltésű) fésűjéhez közelítjük. Az alma taszítja azt, tehát az alma szintén negatív elektromos töltésű. — Ha az almát kezünkkel megérintjük, azonnal elveszíti elektromos töltését.



261. Tűzzünk a fésűre egy almát. Csapkodjuk meg egy másik fésű végére kötött papírbokrétával. Az alma negatív elektromosságú lesz

Ezt a kísérletet egy darab kenyérral is elvégezhetjük, ha a kenyeret fésűre vagy fogkefére, fogkefenyélre tűzzük.

Megjegyzés: hogy olyanok is elvégezhesék ezeket a kísérleteket, akiknek hajuk már gyér az alma dörzsöléséhez (vagy nem elég száraz) — azért jó, ha a fésű végére egy papírbokrétát kötünk zsineggel (261. ábra), és ezzel a bokrétával verdessük meg 2-3-szor az almát (vagy a kenyeret), miközben a fésűt fogjuk.— A papírbokrétát használhatjuk elektromozásra a következő kísérletben is.

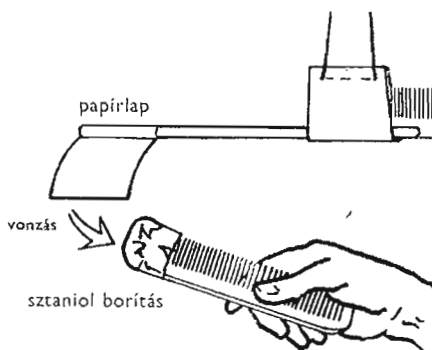
A megdörzsölt fém is elektromos

A mindennapi életben azért nem tapasztaljuk, hogy az alma, a kenyér, a fadarab elektromos, mert ezek elvezetik az elektromosságot, ami dörzsöléskor keletkezik rajtuk — hacsak nem tesszük őket szigetelő nyélre (fésű, fogkefenyél). — Ha sztaniollemezzel beburkoljuk a fésű végét (262. ábra), akkor könnyű kimutatni, hogy a fém is elektromossá tehető dörzsöléssel.

Kísérlet. Fogjuk meg a fésűt a borítatlan részén, és simítsunk végig a sztaniolos véggel száraz hajunkon. Azután közelítsük a fémet az elektroszkóp papírlemezéhez: vonzzák egymást. Tehát a megdörzsölt fém (sztaniol) is elektromos!

Milyen elektromosságot mutat? Erre a kérdésre az elektroszkóp megdörzsölt fésűje adja meg a feleletet. Közelítsük a hajjal vagy prém-mel simított sztaniolt az elektroszkóp papírral dörzsölt fésűjéhez:

262. A fésű végét borító sztaniolappal simítsunk végig hajunkon. A sztaniol (a fém) elektromos lett



taszítják egymást. Tehát a dörzsölt fém negatív elektromosságot mutat.

Hasonló kísérletekkel kimutatjuk, hogy minden anyag, minden test elektromosságot mutat, ha egy másik testtel szoros érintkezésbe kerül (erre szolgál a simítás és a dörzsölés), tehát **az elektromos állapot az anyagnak egyetemes, általános tulajdonsága.**

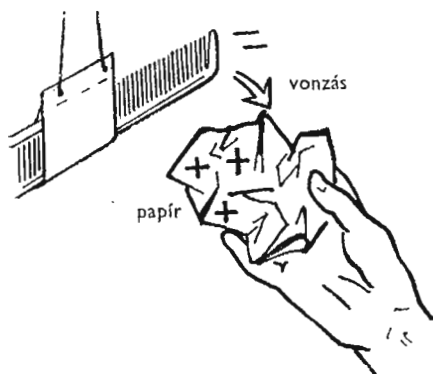
Mindig pozitív? Negatív?

Előző kísérletünkben a fa és a fém pozitív elektromosságú lett. Az a kérdés, hogy a dörzsölt anyag mindig ugyanolyan elektromosságú lesz-e, akármivel dörzsöljük?

Nem! — Ugyanaz az anyag lehet pozitív és negatív elektromosságú is — ez csupán attól függ, hogy mivel dörzsöljük meg.

Kimutathatjuk például azt, hogy a megdörzsölt papír lehet egyszer pozitív elektromosságú, máskor meg negatív elektromosságú.

1. Kísérlet. Száraz papírral dörzsöljük meg a fésűelektroszkóp fésűjét, azután közelítsük ezt a dörzsölt papírost az elektroszkóp papírzászlójához (263. ábra). A dörzsölt papír vonzza a papírzászlót, tehát nemcsak a megdörzsölt fésű lett elektromos, hanem a dörzsölt papír is. — Milyen elektromossága van a dörzsölt papírnak? — Közelítsük az elektroszkóp fésűjéhez — vonzza azt; a dörzsölt papír pozitív elektromosságú.



263. A megdörzsölt papír lehet pozitív elektromosságú, de lehet negatív elektromosságú is. — Ha fésűhöz dörzsöljük a száraz papírt, akkor pozitív, ha pedig hajunkhoz simítjuk, akkor negatív elektromosságú lesz

2. Kísérlet. A száraz papírral simítsunk végig hajunkon, tehát most a papír hajhoz dörzsölődik. A papírt megint elektromosnak találjuk, csak hogy most az elektroszkóp negatív elektromosságú fésűjét taszítja. A papír most negatív elektromosságú lett.

Kísérleteink igazolják, hogy a papír (vagy bármely anyag) mutathat egyszer pozitív, máskor negatív elektromos állapotot aszerint, hogy milyen anyaggal dörzsöljük.

És újra rámutatunk arra az érdekes tényre, amit kísérleteink igazolnak: **összedörzsöléskor mind a két test elektromos lesz, csak hogy elektromosságuk ellenkező jelű.**

Előre megmondhatjuk azt, hogy ha két testet összedörzsölünk, akkor melyik milyen elektromosságot mutat.

A következő felsorolásban jól ismert anyagokat találunk sorba állítva. Válasszunk ki bármilyen két anyagot a sorból. Dörzsöljük össze őket. Amelyik anyag a sor + jelű kezdetéhez áll közelebb, az pozitív elektromosságú lesz, amelyik a sor – jelű végéhez, az negatív elektromosságú.

+ haj, szőr, flanell, üveg, toll, gyapot, selyem, bőr, fa, papír, pecsétviasz, fémek, paraffin, keménygumi, műanyagok (fésű), szén. —

Például dörzsöljünk össze papírt és szőrt. Milyen elektromosságúak lesznek? Mivel a szőr a sor + végéhez van közelebb, elektromossága pozitív lesz; a papíré negatív.

Válasszuk ki most a táblázatból a papírt és a műanyagot (fésűt). Mivel a papír most közelebb van a sor + végéhez, mint a fésű, azért most a papír pozitív töltésű lesz.

Mindezt kísérleteink igazolják.

És a felhők? A felhők vízcseppekből állnak. A vízcsepp nagyobb fajsúlyú, mint a levegő, esik a levegőben, eközben sűrűlódik a levegőhöz. De ha két test egymáshoz sűrűlódik, mind a kettőnek elektromosnak kell lennie. Ha vegytiszta vízcsepp hull a levegőben, akkor a csepp pozitív elektromos, a levegő negatív elektromos lesz. Későbbi kísérletek alapján látni fogjuk, hogy egyéb okok miatt is elektromosak lehetnek a felhők, és negatív elektromosságot is nyerhetnek.

Gondolkozzunk: 1. Milyen elektromosságú lesz fésülködéskor a haj, és milyen a fésű?

A sorozat szerint a fésű —, a haj + elektromosságú.

2. Miért kíséri szervezetünk minden életmegnyilvánulását (és az anyag mozgását általában) elektromos töltés, elektromos áram?

Szerveink mozgás közben sűrűlődnak egymáshoz, a nedvekhez, a vérhez. Ez elektromos töltést okoz.

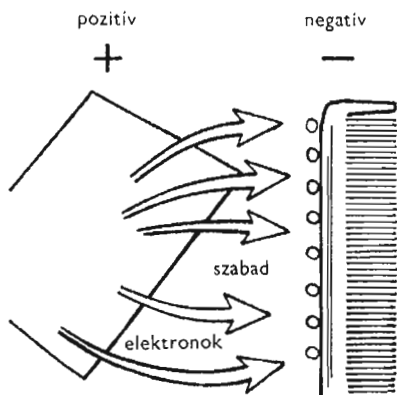
3. Egy óriás léghajó úgy pusztult el, hogy amikor leszállás közben közelgett a földhöz, hatalmas szikra keletkezett közte és a föld között. A léghajó felrobbant. Miért keletkezett szikra?

A léghajó mozgás közben sűrűlött a levegőhöz. A léghajó a sűrűlés miatt éppen úgy feltöltődött elektromossággal, mint a vízcseppek.

Elektronnal magyarázzuk a tényeket

Miért lesz a fésű ellenkező elektromosságú, mint a papír, ha összedörzsöljük őket? Miért lesz a papír pozitív elektromosságú, máskor meg negatív elektromosságú? — A testek dörzsöléskor miért lesznek egyáltalán elektromosak? Mit jelent tulajdonképpen az, hogy elektromos? Mi ennek a lényege? Mi különbség van a pozitív és a negatív elektromos állapot között?

Úgy érezzük, hogyha minderre meg tudnánk felelni, egészen más szemmel néznénk a kísérleteinkre.



264. Ha papírt és fésűt dörzsölünk össze, akkor a papír szabad elektronjainak nagyobb a törekvése a papír elhagyására, mint a fésű elektronjainak a fésű elhagyására. A papírról elektronok mennek át a fésűre. Ezért a fésű negatív, a papír pedig pozitív elektromos töltésű lesz

elektromosak. Azt mondjuk: az elektronok negatív elektromossága semlegesíti az atommagok pozitív elektromosságát.

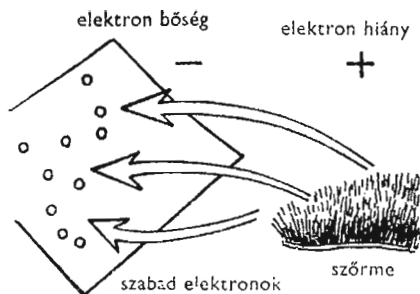
A testek atomokból épülnek fel. Az atomok külön-külön nem mutatnak elektromosságot, azért rendes körülmények között a testek sem elektromosak, hanem semlegesek. Azonban a testekben az elektronok egy része nem kötődik olyan szorosan az atommaghoz, mint a különálló atomokban. Ide-oda mozoghatnak az atomok között. Nevezzük most ezeket szabad elektronoknak.

A szabad elektronok határozzák meg a test elektromos állapotát. Ha a normálnál több szabad elektron van a testben, akkor a test negatív elektromos állapotban van. Például a megdörzsölt fésűn sokkal több szabad elektron van, mint a meg nem dörzsölt fésűn. Ezért a fésű negatív elektromos állapotot mutat. Elektronfelesleg van rajta, ezt úgy is szokás mondani, hogy negatív töltése van a testnek.

Ha a testben az elektronok száma a normálnál kevesebb, akkor a test pozitív elektromos állapotban van.

Elektronhiány van a testen. Ezt úgy is szokás mondani, hogy a testnek pozitív töltése van.

A **dörzsöléssel** keletkezett elektromos állapotot ezek után így magyarázzuk: a testekben levő szabad elektronoknak kisebb-nagyobb a törekvésük (anyagi minőségtől függően) a test elhagyására. Amelyik



265. Ha papírt szőrrel (hajunkkal) simítunk végig, akkor a szőrről mennek át elektronok a papírra. A papíron tehát elektronfelesleg keletkezik, ezért negatív elektromosságú lesz. A szőr pedig pozitív elektromosságú lesz, mert elektronhiány van rajta

test elektronjainak nagyobb a törekvésük a test elhagyására, dörzsöléskor arról a testről távoznak el elektronok. Tehát dörzsöléskor az egyik testre elektronok jutnak a másiktól (264. és 265. ábra).

Amelyik test elektronokat veszít, az pozitív töltésű lesz, amelyekre pedig az elektronok rájutnak, az negatív elektromosságú.

Ebből azonnal következik az is, hogy nemcsak a dörzsölt tárgy lesz elektromos, hanem a papír is, amellyel a dörzsölést végeztük, de ez ellenkező elektromosságú lesz.

Tulajdonképpen nem is a dörzsölés a fontos, hanem a **testek érintkezése, hogy az érintkezési helyen megtörténhessék az elektronok átáramlása egyik testről a másikra.**

Az elektronok mozgása az anyagokban

Elektromtároló konzervdobozból

A megdörzsölt fésűn sok felesleges elektron van, de hiába nyúlunk hozzá ujjunkkal, nem folynak le róla az elektronok, hiszen a fésű anyaga szigetelő, akadályozza az elektronok mozgását.

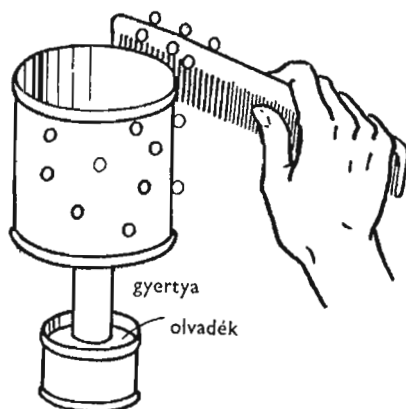
De ha a fésű végét beborító sztani állapot tesszük dörzsöléssel elektromossá, erről a vékony alumínium lemeztől azonnal elfolynak az elektronok testünkön át a földbe, mihelyt a sztaniolt megérintjük ujjunkkal.

Hogy az elektronokat fémtartón összegyűjthessük, egy kényelmesebben használható eszközt készítünk: szigetelő lábra állítunk kb. félliteres űrtartalmú konzervdobozt (266. ábra).

Szigetelő lábnak bél nélküli gyertyát használunk. A gyertyát vagy üres gyufásdobozra ragasztjuk, vagy pedig (ez a legjobb megoldás) egy kisebb konzervdobozban (májkrémes doboz) gyertyát olvasztunk, és ebbe állítjuk bele. Miután a láb készen van, egy gyufa lángjával kívülről megforrósítjuk a nagyobb konzervdoboz fenekének közepét, és a gyertya tetejére szorítjuk.

A gyertyabél vezet az elektromosságot, ezért a belet el kell távolítani, de nem úgy, hogy kihúzzuk a gyertyából, mert ez nem sikerül, hanem **bél nélküli gyertyát kell öntenünk** a következőképpen: a gyertyára néhány menetben papírt tekerünk, és a papír meneteit össze-
ragasztjuk, ezután lehúzzuk a papírcsövet a gyertyáról. A papírcső egyik végét behajtogatjuk, elzárjuk, és belülről még gyertyát is csöpögtetünk a zárt végébe, hogy jól elzárjuk.

Ezután egy konzervdobozt a tűzhelyre teszünk, belevagdálunk egy gyertyát belestől. A gyertyaanyag megolvad. Az olvadékból a gyertyabéldarabkákat kiszedjük. — Papírcsőünket zárt végével lefelé hideg vízbe mártjuk, és a gyertyaolvadékot a papírcsőbe öntjük, miközben a csövet egyre mélyebben mártjuk a vízbe.



266. Bél nélküli gyertyalábon álló üres konzervdoboz. — Ha száraz papírral dörzsölt fésűt húzunk végig a doboz oldalán, a fésűről szabad elektronok jutnak a dobozra, tehát negatív elektromos töltést nyer

Ha a gyertyaolvadék már lehűlt, megmerevedett, kivesszük a vízből, letépjük róla a papírt. Készen van a kitűnően szigetelő, bél nélküli gyertyaláb.

Az öntés előtt a gyertyaolvadékot csak éppen addig melegítsük, amíg egészen megolvad, mert ha nagyon átforrósítjuk, nehezen hűl ki.

Két ilyen gyertyalábon álló konzervdobozt készítsünk kísérleteinkhez; egyenlő magasak legyenek.

Kísérletezők figyelem! A következő kísérletek sorozatában ezt a gyertyalábas szigetelést tüntettük fel ábráinkon, és fésűt alkalmaztunk. — Azonban a 364. oldalon a szigetelésnek sokkal egyszerűbb módját is ismertetjük. Azt ajánljuk tehát az olvasónak, hogy mielőtt a következő kísérletek elvégzéséhez fogna, előbb csak olvassa el a következő részt a 363. oldalig. És akkor majd a „Kísérletek a legegyszerűbben” című fejezet alapján eldöntheti, hogy milyen szigetelési eljárást alkalmazzon kísérleteiben.

Összegyűjtjük az elektronokat

1. Kísérlet. Húzzuk végig a megdörzsölt fésűt a gyertyalábon álló konzervdoboz oldalán vagy a felső peremén. A dobozra elektronok mennek át a fésűből, a doboz maga is elektromos lesz (lásd a 266. ábrát).

Hogy a doboz valóban elektromos, azt az ismert módon igazoljuk a fésűelektroszkóppal: ha a konzervdobozt a fésűelektroszkóp papírzászlójához közelítjük — vonzza azt.

Közelítsük az elektromossággal töltött fémedényt az elektroszkóp megdörzsölt fésűjéhez. — Taszítja azt.

Térítsük ki jól nyugalmi helyzetéből a függő fésűt az edénnyel.

2. Kísérlet. Kézben tartott fésűnket újra dörzsöljük meg (száraz papírral vagy hajunkkal), és így többször egymás után húzzunk vele végig a doboz oldalán. — Azt látjuk, hogy az elektroszkóp fésűje egyre jobban kitér, tehát **egyre több elektron gyűlik össze a dobozon, elektromos töltése egyre növekedik.**

3. Kísérlet: a földelés. Érjünk hozzá ujjunkkal a megtöltött doboz-

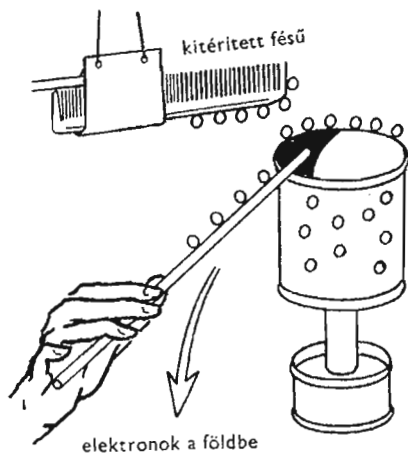
hoz: az elektroszkóp kitérített fésűje azonnal visszatér kitérített helyzetéből, és nekiütdök a doboznak.

A dobozról az elektronok testünkön át a földbe távoztak. — Földel-tük a dobozt.

Jó vezető — rossz vezető

1. Kísérlet: jó vezetők. Töltsük meg a gyertyalábas konzervdobozt elektromossággal egy megdörzsölt fésű segítségével, és térítsük ki vele elektroszkópunknak ugyancsak megdörzsölt fésűjét. Azután érvünk az edényhez egy kezünkbe fogott drótdarabbal, kulccsal, fémdarabbal (267. ábra). Az elektroszkóp fésűje azonnal visszatér kitérített helyzetéből — az edény most is elveszítette elektromos töltését. A fémek tehát jól vezetik az elektromosságot.

2. Kísérlet: rossz vezetők. Hasonló módon vizsgálhatjuk meg azt, hogy egy száraz fapálcika, száraz cérnafonál, papírcsik elvezeti-e az elektromosságot? — Azt tapasztaljuk, hogy ha ezekkel az anyagokkal érintjük meg a megtöltött fémedényt, akkor a fésű nem hirtelen, hanem szép lassan, néha nagyon lassan tér vissza nyugalmi helyzetébe. Ebből következik, hogy a felsorolt száraz anyagokon is át tudnak ugyan áramlani az elektronok, de csak lassan. A száraz fa, papír, cérna, szövet, rossz vezető.



267. Így vizsgálhatjuk meg azt, hogy a különféle anyagok jól vagy rosszul vezetik-e az elektronokat

Nedvesítsük meg ezeket az anyagokat — azonnal kitűnően vezetnek az elektromosságot. Tehát a vizes tárgyak, a nedves anyagok igen jól vezetnek az elektromosságot.

3. Kísérlet: szigetelők. Térítsük ki a megtöltött konzervdobozzal újra az elektroszkóp fésűjét. Azután érjünk hozzá a dobozhoz, például gyertyadarabbal, száraz fogkefényéllel, pecsétviaszal, gumidarabbal. A doboz nem veszíti el elektromosságát. A felsorolt anyagokon át nem tudnak áramlani az elektronok, ezek az anyagok szigetelők, más néven **izolátorok (dielektrikumnak is nevezik őket)**. Hogy miért, az majd további kísérleteinkből derül ki. Jó szigetelő még a száraz üveg és a porcelán is.

Hasonló kísérletekkel azt is megvizsgálhatjuk, hogy a vízen kívül más folyadékok vezetnek-e az elektromosságot? Ha például egy száraz fapálcikát petróleumba vagy olajba mártunk és úgy érünk hozzá a megtöltött fémedényhez, azt tapasztaljuk, hogy a fapálcika nem lett jobb vezetővé.

A petróleum, a benzin és az olaj jó szigetelők.

Éles határt nem lehet vonni a jó vezetők, rossz vezetők és szigetelők között. A vezetőképesség minden lehetséges fokozatát megtaláljuk. A legkitűnőbb elektromosságvezető az ezüst és a réz. A legkitűnőbb szigetelők a gyertya (paraffin), a borostyánkő, a csillám és a kvarc, a porcelán, a keménygumi, a selyem, a műanyagok (például celluloid, trolit, PVC stb.) és a gázok.

Legjobban szigetel: a légritka tér.

Fontos megjegyzés a műanyagokra: nem mindegyik műanyag szigetelő! Nem bizonyos, hogy a rendelkezésünkre álló fésű vagy műanyag tálcák, pohár alkalmas kísérleteinkre. Ezért előbb meg kell vizsgálni szigetelőképességüket. Ez a legegyszerűbben úgy történik, hogy megdörzsöljük őket, és ha apró papírszeletkét, vagy vattapelyhecskét magukhoz vonzanak, akkor szigetelők.

Hogyan történik az elektronok áramlása a fémekben? A testek atomjai nincsenek szorosan egymás mellett. Az atomok méretéhez képest elég nagy közök választják el őket egymástól. Ezeken a közökön át mozognak a szabad elektronok, mint ahogyan mi is mozogha-

tunk egy villatelep lakóháza között. A szigetelő szabad elektronjai úgy helyezkednek el, hogy megakadályozzák egymás mozgását, ezért nem vezeték az elektromosságot.

Az üveg vezeték az elektromosságot?

Régebben, amikor még a kitűnően szigetelő műanyagokat nem ismerték, az elektromos eszközök szigetelésére a borostyán és a kén mellett szinte kizárólag üveget használtak. — Előző kísérletünkkel meggyőződhetünk róla, hogy a gondosan megtisztított száraz üveg valóban jól szigetel. — Ha azonban néhányszor végiglehelünk egy jól szigetelő üvegdarabon, a leheletünkéből lecsapódó pára elegendő ahhoz, hogy az üveg elveszítse szigetelőképességét.

Ezért kísérleteink sikerének feltétele az, hogy eszközeink ne legyenek hidegebbek, mint a szoba hőmérséklete. Ekkor nem csapódhatik le rájuk nedvesség a szoba levegőjéből. — Ha pedig a tárgyak, például az üveg melegebb, mint a szoba levegője, akkor biztosabbak lehetünk afelől, hogy nem párasodnak be.

És mégis — egyszerűen be tudjuk mutatni azt a nagyon meglepő tényt, hogy **minél melegebb az üveg, annál jobban vezeték az elektromosságot.**

Kísérlet. Egy üvegcsíkot vagy üvegcsődarabot (esetleg orvosságos fiolát) tisztítsunk meg gondosan, és hogy jó száraz is legyen, melegítsük langyosra. — Ebben az esetben kimutatjuk, hogy kitűnően szigetel, mert ha az elektromosan töltött konzervdobozunkhoz érünk vele, **nem** vezeték el annak elektromosságát.

Forrósítsuk meg az üveget úgy, hogy spirituszláng felett (hogy ne legyen kormos) forgatjuk óvatosan. — Jóllehet az üveget csak annyira forrósítottuk meg, hogy még könnyen tudjuk kezünkben tartani, mégis — ha a megtöltött konzervdobozhoz érünk vele, a doboz elveszti elektromosságát (az elektroszkóp kiterített fésűje visszatér).

A forró üveg vezeték. Ha vörösizzásig hevítünk fel 1-2 cm hosszú üvegdarabot, akkor olyan erős áramot vezethetünk át rajta, hogy izzásban tarthat egy 100 W-os égőt is!

Vezetővé tesszük a levegőt — A lángionizáció

1. Kísérlet: a konzervdoboz sokáig megtartja töltését. Töltsük meg a szigetelő lábon álló konzervdobozunkat elektromossággal. Térítsük ki vele jól fésűelektroszkópunk megdörzsölt fésűjét, aztán várjunk néhány percig. Azt vesszük észre, hogy a fésű kitérése csak igen lassan csökken. Fél óra is elmúlhat, mire a fésű visszatér eredeti állásába, vagyis a doboz (esetleg a fésű is) elveszti elektromos töltését.

Hogy a töltésvesztést, a mutató kitérésének csökkenését jól megfigyelhessük, célszerű, ha az elektroszkóp mutatójának nyugalmi helyzetét is, meg a kitértett helyzetét is megjelöljük egy odatett tárggyal, például odaállított gyertyával.

Annak okát, hogy miért veszítik el még a legjobban szigetelt testek is lassacskán önmaguktól töltésüket, később közöljük.

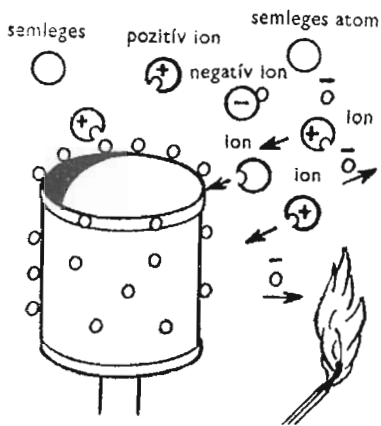
2. Kísérlet: a konzervdoboz azonnal elveszti töltését. A megtöltött konzervdobozzal térítsük ki ismét elektroszkópunk megdörzsölt fésűjét. Ezután tartsunk égő gyufaszálat 5-10 cm messze a konzervdoboztól. — A fésű pillanatok alatt visszatér, hozzáütődik a konzervdobozhoz, amely elveszítette töltését. Még a gyufaszál parazsa is elég ahhoz, hogy a doboz elveszítse töltését.

Ez a kísérlet azt bizonyítja, hogy a láng vagy a parázs hatására vezetővé lesz a levegő. — Mi ennek az oka, **hogyan veszíti el a fémdoboz elektromos töltését?**

Ionok a levegőben

A levegőben levő gázok atomjai is atommagból és a körülötte keringő elektronokból állnak. — Ezek az atomok örökös mozgásban (hőmozgás) vannak. Minél melegebb a levegő, a benne levő atomok annál sebesebben repülnek, és közben roppant sokszor összeütköznek egymással (268. ábra).

Összeütközés közben az egyik atomról elektron szakadhat le. Ez a leszakadt elektron csatlakozhat egy másik, sértetlen atomhoz. — Mi lesz ennek a következménye?



268. A jól szigetelő levegőt is vezetővé tehetjük. Ha az elektromossággal töltött konzervdoboz mellett gyufát gyújtunk, a doboz elveszti elektromos töltését. Ugyanis a gyertya lángjának melege miatt a láng környezetében sok millió pozitív és negatív töltésű atom- (molekula-) részecske: ion keletkezik. — A pozitív töltésű ionok a negatív töltésű doboz felé mozognak, és a dobozra rakódnak

Amelyik atomhoz a negatív elektron csatlakozik, annak az atomnak **több elektronja** lesz, mint kellene, tehát negatív töltést mutat. Az ilyen atomot, molekulát **negatív ionnak** nevezzük (268. ábra).

Abban a másik atomban (molekulában) pedig, amelyikről leszakadt az elektron, **kevesebb elektron** lesz, mint kellene, tehát pozitív töltést mutat. Az ilyen, elektronját veszített atomot, molekulát, **pozitív ionnak** nevezzük.

Ha lángot gyújtunk, akkor a levegőben a láng környezetében ropant nagy számú (sok billió) pozitív és negatív ion lebeg, röpköd. — Ennek érdekes következményét látjuk a 268. ábrán.

Konzervdobozunk töltése negatív. Ez a negatív töltés magához vonzza a pozitív töltésű ionokat. Egyre több pozitív ion száll rá a konzervdobozra, semlegesíti a dobozon levő elektronok negatív töltését, végül a doboz elveszti töltését.

Az **ion görög szó, annyit jelent, mint mozgó, vándorló valami**. Az ionok valóban vándorolnak, szállnak a levegőn át a doboz felé.

A megtöltött konzervdobozon kb. **100 ezermilliónyi elektronfelesleg** van. **A gyufaláng sokszor ennyi iont kelt a levegőben**, hiszen a fémdoboz egy pillanat alatt elveszti elektromos töltését.

Meddig maradnak meg az ionok a gyufaszál elalvása után?

Azt gondolhatnánk, hogy sokáig, talán percekig, órákig? — De gon-

doljuk csak meg, hogy a fémdoboz milyen gyorsan elvesztette töltését, mennyire igyekeztek az ionok az ellenkező elektromosságú testtel egyesülni! A levegőben levő pozitív és negatív ionok is vonzzák egymást, és pillanatok alatt egyesülnek, ha az ionokat keltő ok (a gyufa forrósága) megszűnik.

Gondolkozzunk: miért veszíti el lassanként töltését a konzervdoboz még a száraz levegőben is?

Ennek három okát adhatjuk meg:

1. Nem tökéletes a szigetelése. Tökéletes szigetelő nincsen. Tehát a gyertyalábon át lassanként a földre áramlanak az elektronok.

2. A megtöltött dobozhoz hozzáütődnek a levegőben állandóan ide-oda röpködő semleges gázatomok, molekulák. A doboz könnyen lead nekik egy-egy elektront, azután eltaszítja őket. Ez lassú töltésvesztéssel jár. — Emiatt még akkor is elveszítené (esetleg napok múlva) a test töltését, ha tökéletesen szigetelő lábon állna.

3. A falakból, a talajból, a levegőből kiinduló **radioaktív sugárzás és a kozmikus sugárzás állandóan termeli az ionokat**, bár sokkal kisebb mértékben, mint a láng.

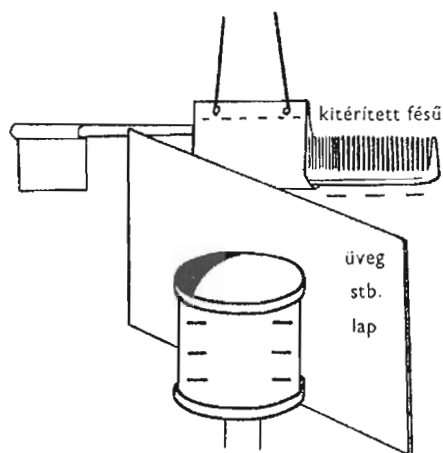
Ezek az okok állandóan hatnak, ezért kismértékben mindig ionizált a levegő, tehát mindig van csekély vezetőképessége. — Ezért nem tartják meg a testek elektromos töltésüket. (Erre vonatkozó kísérletet találunk a 349. oldalon.)

Az elektromos erő átáthatolása az anyagokon

A fésűvel elektromosan töltött konzervdoboz taszítja elektroszkópunk megdőrszölt fésűjét. Tehát az elektromos töltésekből valamiféle erő, elektromos erő indul ki és terjed a levegőn (a légüres téren is) át. Ez az erő másodpercenként 300 000 km sebességgel terjed. Ezt **Hertz** állapította meg kísérletekkel 1888-ban. További kérdés az, hogy átáthat-e az elektromos erő minden anyagon? — Erre nézve mi is végezhetünk kísérletet.

1. **Kísérlet: a szigetelők átlátszók az elektromos erőre nézve.** Fésűvel elektromosan töltött konzervdobozunkkal térítsük ki elektroszkóp-

punk papírral dörzsölt fésűjét. — Azután egy jól megtisztított, száraz üveglemezt tartunk a doboz és az elektroszkóp függő fésűje közé (269. ábra). Azt vesszük észre, hogy a fésű kitérített helyzetben marad. — Ugyanezt tapasztaljuk akkor is, ha más szigetelőanyagból készült lemezt (például átlátszatlan trolit-, bakelit- vagy PVC-lemezt) használunk.



269. Így vizsgálhatjuk azt, hogy a különféle anyagok milyen mértékben bocsátják át magukon az elektromos erőt

Az elektromos erő gyengítetlenül halad át a szigetelőanyagokon. Mivel a levegő is jó szigetelő, ezért hatol át rajta az elektromos erő. Ha a levegőt eltávolítanánk a doboz és a fésű közül, és légritka tér lenne közöttük, akkor is taszítanák egymást.

Mi az a dielektrikum? A „dia” görög szónak jelentése annyi, mint: át — a dielektrikum olyan anyagot jelent, amelyen az elektromos erő át tud hatolni. Láttuk, hogy **a jól szigetelő anyagok a dielektrikumok.**

Ha a rádió-adóállomás és vevőkészülékünk között jól szigetelő anyag van, mint például a levegő, akkor ezen jól át tud hatolni az antennatoronyból kisugárzó elektromos erő. — A legkitűnőbb szigetelő a légritka tér, tehát a légritka térben még gyengítetlenebbül tud haladni az elektromos erő (rádióhullámok, fényhullámok érkeznek hozzánk az ezermillió fényévnél távolabbi égitestekről is).

2. Kísérlet: a vezetők átlátszatlanok az elektromos erőre nézve. Fésűvel elektromosan töltött konzervdobozunkkal térítsük ki elektroszkópunk papírral dörzsölt fésűjét. Tartsunk papírra ragasztott sztaniollapot vagy egyéb fémlapot a doboz és az elektroszkóp közé — a fésű azonnal visszatér. Megszűnt a két test között a taszítóerő, az elektromos erő nem tudott áthatolni a fémlemenen.

Az elektromos erő nem tud áthatolni a vezetőanyagokon.

Ha újabb kísérletünkben drótrácsot vagy fémből készült szitaszövetet tartunk a doboz és a fésű közé, akkor is megszűnik a fésű kitérése. Az elektromos erő nem tud áthatolni a fémrácsra sem.

3. Kísérlet: a papírlap. Tartsunk papírlapot, falapot a doboz és a fésű közé. Azt látjuk, hogy nem olyan hirtelen, mint előbb, de most is megszűnik a fésű kitérése (pontosabban: nagyon lecsökken), tehát a rosszabb vezetők kisebb-nagyobb mértékben meggyengítik a rajtuk áthaladó elektromos erőt.

Minél jobb vezető valamely anyag, annál inkább meggyengül a rajta keresztülhaladó elektromos erő. **A jól vezető anyagok átlátszatlanok**, a többiek szigetelőképességüknek megfelelően többé-kevésbé átlátszóak **az elektromos erő számára.**

A rádióhullámokban is elektromos erő terjed. Ha a rádióknak nincsen külső antennája, hanem csak szobaantennával működik, akkor faházban igen jól szólhat, téglaházban (a nedvesség miatt jobb vezető és vastagabb a fal) gyengébben szól, mert az elektromos erő jobban legyengülve halad a falon át, vasbeton házban pedig még gyengébben szól. — Természetesen bármely házban jól szól a rádió, ha külső antennája van.

Miért rossz a rádióvétele nappal? Sőt, különbség van téli és nyári napok között is. Télen esetleg még nappal is bejönnek a külföldi állomások, de ugyanezek hullámai, ugyanezekből az állomásokból kisugárzó elektromos erő már nem tud hozzánk eljutni nyári napon. — Mi ennek az oka? A most közölt és elvégzett kísérletek és a levegő ionizációjára vonatkozó kísérletek alapján könnyű az okot megtalálni.

Nemcsak a láng teszi vezetővé a levegőt, hanem a napsugárzás is. A napsugárzás hatására bármilyen csekély mértékben is, de mégis

kevésbé jól szigetel a levegő nappal, mint éjszaka. — Kísérleteink pedig azt bizonyították, hogy az elektromos erő annál inkább meggyengül, miközben valamely anyagon áthalad, minél rosszabbul szigetel az illető anyag.

Nappal tehát sokkal nagyobb mértékben gyengíti a levegő a rádióadótoronyból kisugárzott elektromos erőt haladás közben, mint éjszaka, amikor eltűnnek már a nappal keletkezett ionok a levegőből.

Minél erősebb, minél hosszabb a napsugárzás, annál több ion keletkezik a levegőben, annál rosszabb szigetelővé válik a levegő, annál gyengébben jelentkeznek a rádióban a távolabbi adóállomások.

Napkelte után, amikor elkezdődik az ionok képződése a levegőben, fokozatosan gyengül, majd eltűnik a távoli adóállomások hangja. Napnyugta után, amikor megszűnik az ionizáció, és újra semleges atomokká egyesülnek az ionok — fokozatosan javul a rádióvétel.

Az elektromos megosztás (influenca)

A villám szele

Gyakran hallunk, olvasunk különös esetekről, amikor állítólag villámcsapás ért valakit anélkül, hogy a villám érte volna. — Ilyen rázkódást valószínűleg mindenki érzett már, ha közelében csapott le a villám. Azt szokták mondani, hogy ilyenkor csak a villám „szele” éri az embert, és ritkábban okoz komolyabb balesetet. Több szavahihető emberrel beszéltem, akiket Budapest belvárosának utcáin ért ilyen elektromos ütés villámláskor. — Lehetséges-e ez? Ez az első kérdésünk.

Második kérdésünk közismert jelenségre vonatkozik: a megdörzsölt fésű magához vonzza a papírszeleteket, azután eltaszítja. — Ez a kísérlet sokkal jobban sikerül, ha nem papírszeleteket használunk, hanem sztanioldarabkát.

Azt már tudjuk, hogy miért taszítja el őket a fésű (mert egynemű

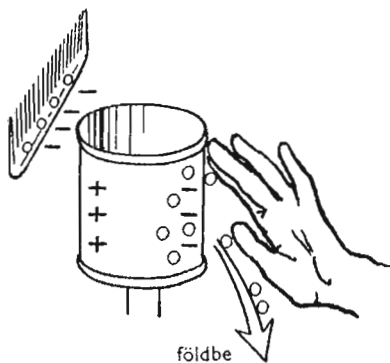
az elektromosságuk). De miért vonzza magához? Hiszen a papírszelet nem elektromos. **Miért vonzza magához az elektromos test a nem elektromos testet?**

Ki sejtene, hogy első és második kérdésünk között szoros kapcsolat van. Annyira szoros, hogy mindkettő magyarázata ugyanaz. Ezt kísérletekkel bizonyítjuk be.

Eddig úgy tettünk valamely testet, például a szigetelő lábon álló konzervdobozt elektromossá, hogy vagy elektromos testtel értünk hozzá, vagy pedig megdörzsöltük. Most kimutatjuk, hogy a szigetelő lábon álló konzervdobozunk elektromos lesz akkor is, ha sem meg nem dörzsöljük, sem más elektromos testtel nem érünk hozzá.

Új módon adunk töltést

Kísérlet. Szigetelő lábon álló fémedényünk közelébe tartunk megdörzsölt fésűt, de ne érjünk a fésűvel az edényhez. Miközben a fésű az edény mellett van, érintsük ujjunkkal az edényt. Vegyük el ujjunkat, és ezután, de csakis ezután, vegyük el a fésűt is (270. ábra).



270. Tartsunk a gyertyalábon álló konzervdoboz közelébe megdörzsölt fésűt, és míg ott van a fésű, érintsük meg ujjunkkal egy pillanatra a dobozt. Az érintés után vegyük el a fésűt is. A konzervdoboz elektromos töltést nyert

Vizsgáljuk meg, hogy elektromos lett-e az edény? Hogyan történik ez a vizsgálat? Úgy, hogy a dobozt fésűelektroszkópunk papírlemezéhez közelítjük. A papírt vonzani fogja. A mutató elfordul. Az edény tehát elektromos.

További kérdés az, hogy milyen elektromosságú? Ezt, amint tudjuk, úgy állapítjuk meg kísérlettel, hogy az edényt közelítjük fésűelektroszkópunk megdörzsölt fésűjéhez. Azt látjuk, hogy az edény vonzza a fésűt. **Elektromos töltésük különböző előjelű.** Az edény pozitív elektromos.

A kísérlet magyarázata: az edény közelébe tartott fésű negatív töltésű. Ezért a fésű elektromossága eltaszítja az edényben levő szabad elektronokat. Az ábrán látjuk, hogy az eltaszított szabad elektronok egy része ujjunkon át a földre áramlik. Ha most elvesszük ujjunkat az edénytől, akkor az edényben a normálisnál kevesebb szabad elektron marad: az edény pozitív töltésű lesz.

Régebben úgy képzelték, hogy az edényben + és – elektromosság van összekeveredve, és az edény közelébe tartott negatív elektromosságú test szétválasztja, megosztja az edényben levő kétféle elektromosságot, azért ezt a jelenséget elektromos megosztásnak (influenca) nevezték.

Mi tudjuk, nem így áll a dolog, csupán a szabad elektronok egy részét taszítja ki az edényből a megosztást előidéző elektromos test.

Most már tudunk felelni arra a kérdésre, hogy **miért vonzza a megdörzsölt fésű a papírszeletet vagy hajunkat a fésűlködés közben.** A fésű negatív elektromossága eltaszítja a papírszeletből a szabad elektronokat. Az eltaszított elektronok az asztallapon át a földre távoznak. A papírlap tehát pozitív elektromosságú lesz. Ezt vonzza a negatív elektromosságú fésű.

A megosztás jelenségét még szebb kísérlettel is megvizsgálhatjuk, ha két edényt használunk. Mindkettő szigetelő lábon álljon. Kísérletünk megadja majd a magyarázatot a különös villámcsapásra is.

Megosztás két dobozzal

Tegyünk egymás mellé két gyertyalábon álló konzervdobozt úgy, hogy érintkezzenek. Azután tartsunk az egyik közelében megdörzsölt fésűt. Az előző kísérletünkéből már tudjuk, hogy negatív elektromosságú fésű a szabad elektronokat a távolabbi edénybe taszítja. Tehát az

ábra szerint a távolabbi edény negatív elektromosságú lesz, a fésűhöz közelebbi edény pedig pozitív elektromosságú (271. ábra).

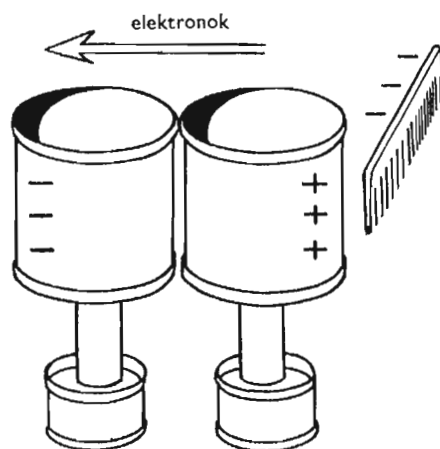
Míg a fésűt ott tartjuk, azalatt vegyük el a talpánál megfogva a távolabbi edényt. Azután elveszük a megosztó fésűt is. Ezáltal a pozitív és negatív töltést szétválasztottuk.

Mutassuk ki fésűelektroszkópunk papírlemezével azt, hogy **a)** mindkét edény elektromos (mindkettő vonzza a papírlapot); **b)** hogy a megosztó fésű közelében levő edény pozitív elektromosságú, a távolabbi edény negatív elektromosságú (az elektroszkóp megdörzsölt fésűjét az egyik vonzza, a másik taszítja).

Ehhez a kísérlethez szükségünk van arra, hogy érzékennyé tegyük elektroszkópunkat, ami úgy történik, hogy a függő fésűt egyszer körülfordítjuk, ezáltal a felfüggesztő cérnaszál összezsavarodik, és kisebb erő is kitéríti a fésűt.

Egyenlő elektromos mennyiségek keletkeznek a megosztás következtében a két edényben? Erre kísérletileg úgy felelhetünk, hogy a megosztott elektromosságokkal töltött két edényt újra összeérintjük. Az elektroszkóppal kimutathatjuk, hogy az érintkezés után egyik sem mutat elektromos töltést.

Amennyi negatív töltés volt az egyiken, ugyanannyi pozitív töltés



271. Az elektromos megosztás kimutatása két konzervdobozal. A fésű negatív elektromossága a szabad elektronokat a távolabbi fémdobozba taszítja. Ezért a távolabbi doboz negatív töltésű lesz, a közelebbi doboz pedig pozitív töltésű

volt a másikon. Ez természetes is, mert amennyi elektron távozott az egyik edényből (pozitív töltésű lett), annyi elektronnal lett több a másikon (negatív töltés).

Lehetséges-e ezek alapján a különös villámcsapás? — Igen. Hogyan? Úgy, hogy az ember fölé például negatív elektromossággal töltött felhő kerül. Ez megosztást gyakorol az emberi testre. A test szabad elektronjainak egy részét a földre taszítja. A testben elektronhiány lép fel (272. ábra).



272. A zivatarfelhő negatív töltése a földre taszítja az emberben levő szabad elektronok egy részét. Ezért az emberi test pozitív elektromosságú lesz. — De abban a pillanatban, amikor a megosztó felhő elveszti elektromos töltését (például villám csap át közötté és a szomszédos felhő között), az emberből hiányzó elektronok a földből visszaáramlanak az emberbe: áramütés éri az embert

Megtörténik a villámcsapás. Megszűnik az az ok, amely az elektronokat eltaszította. Az elektronok ebben a pillanatban visszaáramlanak a testbe. A testen át elektronáram folyik, áramütést érzünk, amely lehet veszélyes méretű is.

Érdemes még megjegyezni azt, hogy az egyetlennek látszó villám sok, gyorsan egymásra következő villámból tevődik össze. Minden részvillám az elektronok új áramlását okozza az emberi testben.

Gondolkozzunk: 1. Lehet-e termelni elektromosságot?

Jelenlegi kísérleteinkben az elektronok adva vannak. Át tudjuk őket vinni egyik testről a másikra, mozgásba tudjuk őket hozni, tehát elektromos töltést, elektromos áramot idézhetünk elő.

2. Hogyan keletkeznek ellenkező elektromosságú felhők (az utolsó ábra alapján)?

Egy negatív elektromosságú felhő megosztást gyakorol a szomszédos felhőre. A szél szétfújja a megosztott felhő két ellenkező elektromosságú részét, az egyikben +, a másikban – töltés marad.

3. Milyen körülmények növelik az elektromos visszacsapás veszélyességét?

a) Minél közelebb van az elektromos felhő — annál erősebb a megosztás.

b) Minél nagyobb a felhő töltése — megosztó hatása annál nagyobb.

c) Ha a villámcsapás nem lassú kisüléssel, nem részletekben, hanem pillanatok alatt következik be — annál erősebb testünkben a visszarámló elektronok által okozott áram.

d) Ha a talaj nedves — kicsiny az ellenállása, erősebb a visszafolyó áram.

e) Ha az áldozat mezítláb van — az előző oknál fogva erősebb az áram.

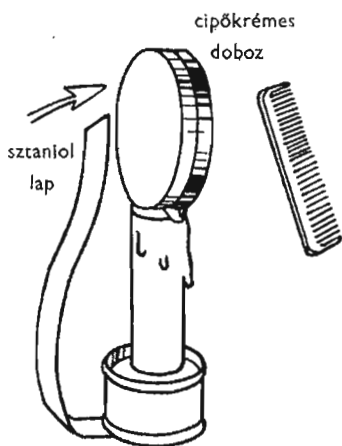
f) Ha az áldozat érzékeny az áramütésre (például gyenge a szíve, könnyen megijed).

Két szórakoztató elektromos játék

A csókolózó kisbaba

Az előző kísérletek az elektromos megosztásnak néha veszélyessé válható esetét mutatták be. A következő kísérleteink vidámabbak lesznek.

Cipőkrémes doboz gyertyalábon. Keressünk ki egy üres cipőkrémes bádogdobozt, amelynek alja nem rozsdás, hanem fénylik. — Ezt a



273. Miközben a megdörzsölt fésű a cipőkrémes doboz oldalához közelítjük, a sztaniollemez többször a doboz oldalához ér, aztán visszapattan róla

cipőkrémes dobozt ragasszuk rá ugyanolyan gyertyalábra, mint előző kísérleteinkben a konzervdobozt (273. ábra).

A cipőkrémes doboz fényes alja lesz a tükör, ami elé egy — a babát jelképező — sztaniollemezt állítunk.

Sztaniolból kivágunk 1,5-3 cm szé-

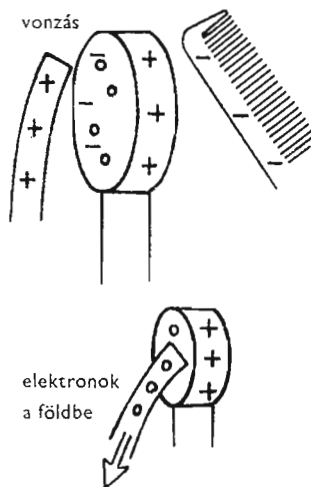
les és 2 cm-rel hosszabb szalagot, mint amilyen magas a gyertyalábás cipőkrémes doboz. A sztaniolszalag végét a gyertyaláb talpa alá dugjuk, és leszorítjuk. A szalag másik részét pedig úgy állítjuk, hogy felső vége a cipőkrémes doboz fényes oldalától 0,5-1 cm messze legyen.

Kísérlet. Száraz papírral (hajunkkal) megdörzsölt fésű lapjával közeledjünk lassan a cipőkrémes doboz másik oldala felé. A sztaniol-lap a doboz felé hajlik, hirtelen nekiütődik, és visszapattan eredeti állásába. — Közeledjünk a fésűvel még jobban a dobozhoz, újra nekiütődik a sztaniollemez a doboznak. Ez az érintkezés (mintha megcsókolná a „babát”) annál többször történik meg egymás után a fésű közelítése közben, minél közelebb hajlítjuk a kísérlet előtt a baba fejét (a sztaniollemez felső végét) a tükörhöz (a cipőkrémes doboz fényes oldalához).

Most **távolítsuk lassan** a fésűt a doboztól. A lemez ismét többször egymás után a dobozhoz hajlik és hozzáér.

Magyarázat: a dobozhoz közelített fésű negatív elektromossága a doboz másik oldalára taszítja a fémdobozban levő szabad elektronok egy részét. Ezért a doboz távolabbi oldala negatív elektromosságú lesz, a vele szemben álló lemez pedig az elektromos megosztás miatt

pozitív elektromosságú (274. ábra). — Ez a negatív elektromosságú oldal magához vonzza a pozitív sztaniollapot, ezen keresztül a földre folyik az elektronfelesleg. A doboznak ez az oldala semleges állapotú lesz, elereszti a lemezt, amely rugalmassága miatt visszaugrik eredeti helyzetébe.



274. Érintkezéskor a fésű által eltaszított elektronok a sztaniollemezen át a földre áramlanak

Miközben tovább közelítjük a fésűt a dobozhoz, újabb elektronokat taszít a doboz másik oldalára, és a játék megismétlődik.

De miért hajlik többször egymás után a sztaniollemez a dobozhoz a fésűt **távolítása közben is?** — A lemez legutolsó odahajlása után a doboznak a lemez felé néző felülete semleges, de a

doboz többi része elektronban szegény (+ töltésű). — Ha a fésűt távolítani kezdjük, kisebbedik az elektronokat eltaszító erő, az elektronok kezdenek visszatérni az elektronban hiányos helyekre. De azáltal a doboznak a lemez felé eső felülete elektronhiányos (+ töltésű) lesz. Tehát újra magához vonzza a lemezt, és érintkezéskor a lemezről annyi elektron áramlik a dobozra, amennyit a fésű taszítóereje megenged. — Ha a fésűt tovább távolítjuk, tovább csökken a taszítóerő, és a játék ismétlődik. Az odahajló lemez érintkezései közben visszaáramlanak a dobozba a fésű közelítésekor eltaszított elektronok, végül helyreáll az eredeti állapot.

Ha a lemez vége elég közel (néhány milliméternyire) van a doboz fényes oldalától, akkor a fésű távolítása közben is annyiszor csapódik a lemez a dobozhoz, mint közelítéskor (a fésűt lassan mozgassuk).

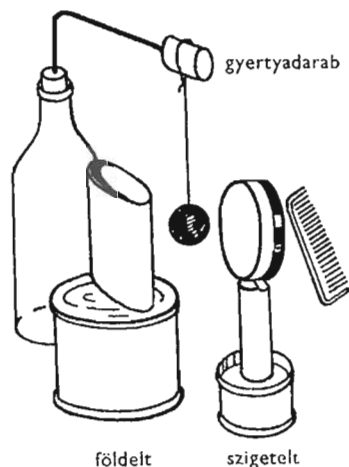
Az elektromos harangjáték

Először készítsük el a harangjáték ütőjét (275. ábra). Egy pingponglabdát ceruzával befeketítünk, hogy felülete vezető legyen. A labdát cérnaszálra függesztjük úgy, hogy a cérnaszál végét ragasztóval bekenet papírdarabka segítségével ráragasztjuk. Most még azt az állványt kell elkészíteni, amire a cérnaszálat felfüggesztjük.

Egy literes üveg dugójába drótot szúrunk. A drótot akasztófaszerűen meghajlítjuk, majd a drót vízszintes végére egy gyertyadarabkát tűzünk. A cérnaszálat erre a gyertyadarabkára függesztjük. Ekkor a pingponglabda el van szigetelve a földtől; ez nagyon fontos.

Szükség van ezenkívül még az előző kísérletben használt üres cipőkrémes dobozra, amely gyertyalábon áll szigetelten, és még egy vagy két fémdobozra (üres konzervdoboz), amelyek nincsenek szigetelve, hanem egyszerűen az asztallapra állítjuk őket.

1. Kísérlet. A szigetelt dobozt és a szigeteletlen dobozt állítsuk egymáshoz olyan közel, hogy közöttük egy kis réssel éppen elférjen a pingponglabda. — **Közeledjünk egy megdörzsölt fésűvel a szigeteletlen**



275. Az elektromos harangjáték. — A beceruzázott pingponglabda cérnaszálon függ. Miközben a megdörzsölt fésűt a szigeteletlen tartón álló cipőkrémes dobozhoz közelítjük, a labda ide-oda ugrál. — Lassan távolítsuk a fésűt, újra elkezdődik a harangozás

álló cipőkrémes doboz felé. Azt látjuk, hogy a dobozok között függő labda hol az egyik, hol a másik dobozhoz ütődik hangos koppanással. — Harangozni kezd anélkül, hogy bármihez is hozzányúltunk volna, majd 10-15 koppanás után mozgása megszűnik.

Vigyük el lassan a doboz oldala mellől a fésűt. **A labda újra ugrándo**zni kezd a dobozok között, majd megáll. Közelítsük megint a fésűt, a harangozás újra megindul. Ezt a játékot többször megismételhetjük.

Harangjátékunk kitűnően működik akkor is, ha a beceruzázott labda helyett egy szeget, rajzszeget vagy más kisebb fémdarabot akasztunk fel a cérnaszálra. — Minél kisebb fémdarab a harangjátékunk ütője, annál többször harangoz a fésű közelítésekor-távolítása-kor.

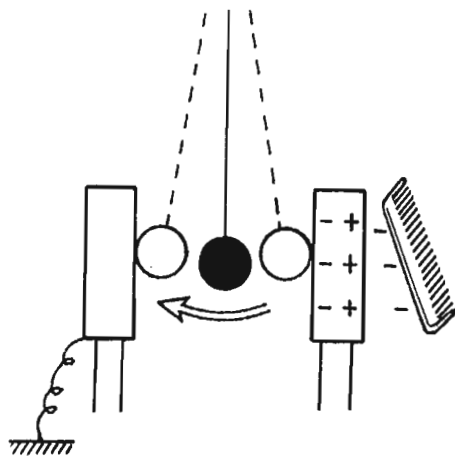
Szebb lesz készülékünk akkor, ha a földelt doboz helyére is egy üres cipőkrémes dobozt helyezünk. Ezt a második dobozt is gyertyalábra tehetjük, csak hogy akkor földelni kell, vagyis a dobozt egy dróttal összekötjük a talpul szolgáló alsó kis konzervdobozzal.

Mi a harangjáték működésének magyarázata? Most is a cipőkrémes dobozban levő elektronok működnek. Nézzük a 276. ábrát. A jobb oldali doboz mellé tartott fésű a dobozban megosztja az elektromosságot. A doboznak a fésűhöz közelebbi oldalán pozitív elektromos töltés keletkezik, a labdához közelebbi oldalon pedig negatív elektromos töltés. Ez a negatív elektromos töltés magához vonzza a labdát. A labda megtelik negatív elektromossággal. E pillanatban a negatív elektromosságú dobozoldal eltaszítja az ugyanolyan töltésű labdát.

A labda nekiütközik a földelt doboz oldalának. Elveszti töltését. Újra természetes, semleges, töltetlen állapotba kerül, ezért a negatív töltésű dobozfallal újra magához vonzza, majd eltaszítja. Ily módon a labda mindig nagy mennyiségű elektront visz el a jobb oldali dobozból. Végre már olyan kevés elektron marad a megosztott elektromosságú dobozban, hogy nem tudja magához vonzani a cérnaszálon függő labdát. A játék megszűnik.

De amikor a labda mozgása megszűnik, akkor még mindig ott van a jobb oldali dobozban a fésű által lekötött pozitív elektromosság. Amikor elveszük a fésűt, ez a pozitív töltés — az elektronhiány —

276. A jobb oldali dobozhoz vonzott labda egy-egy adag elektront szállít a bal oldali, földelt dobozhoz. Ha a töltést elszállította, megáll a játék



szétterjed az egész dobozon. Tehát a doboz pozitív elektromos töltésű lesz. A doboz most megint magához tudja vonzani a labdát.

A dobozhoz ütdődő labda pozitív elektromos töltésű lesz. A doboz eltaszítja. A labda nekiütődik a másik doboznak. Ott elektronok áramlanak rá. Elveszíti pozitív töltését. Semleges lesz. A semleges állapotú, töltetlen labdát megint magához vonzza a pozitív töltésű doboz. A játék mindaddig folytatódik, amíg a labda annyi elektront nem szállít vissza a dobozra, hogy a doboz pozitív elektromos töltése olyan kicsiny lesz, hogy már nem tudja magához vonzani többé a labdát.

2. Kísérlet. Mit gondolunk? Sikertül-e a kísérlet akkor is, ha az egyik dobozt sem földeljük? Vegyük el tehát a földelődrótot a dobozról, és próbáljuk meg így is a kísérletet. Tartsuk a megdörzsölt fésűt az egyik doboz oldala közelébe (de hozzá ne érjünk). Újra megtörténik a harangozás. Egy második verset harangoz a labda akkor, ha elveszük a fésűt.

Számláljuk meg a koppanások számát. Melyik esetben történik több koppanás? Akkor-e, ha az egyik doboz földelve van, vagy akkor, ha nincsen földelve? Azt tapasztaljuk, hogy akkor hallunk több koppanást, ha a doboz földelve van.

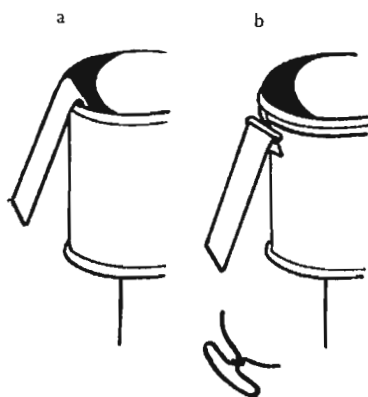
Néhány érdekes elektromos kísérlet

Sztaniollemez a konzervdobozon

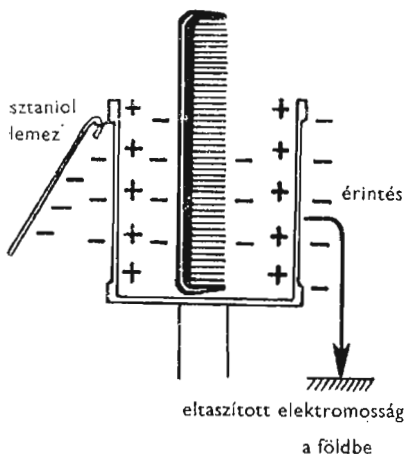
Vágjunk ki kb. 1 cm széles sztaniolszalagot, és azt a 277. ábra szerint akasszuk rá gyertyalábon álló konzervdobozunk szélére. Még jobb, ha a konzervdoboz felső pereme alatt drótot csavarunk körül, erre egy kis hurkot készítünk, és a hurokra függesztjük fel a sztaniollemezt.

1. Kísérlet. Megdörzsölt fésűvel húzzunk végig a doboz peremén, a sztaniollemez felemelkedik. Újra dörzsöljük meg a fésűt, és újra húzzunk végig vele a doboz peremén. A doboz elektromos töltése egyre nagyobbodik, egyre jobban felemelkedik a sztaniollemez, ugyanis a dobozon és a lemezen egyre több lesz az elektronokból álló töltés, és a lemez töltése meg a doboz vele egynemű töltése taszítja egymást.

2. Kísérlet: eltaszítjuk a szabad elektronokat. — Közeledjünk megdörzsölt fésűvel a doboznak a sztaniollemezzel szemközti oldalához. A lemez egyre jobban emelkedik. — Vigyük el a fésűt, a lemez visszaereszkedik.



277. A sztaniollemezt ráakasztjuk a doboz szélére (a), de jobb, ha a doboz pereme alatt drótot csavarunk körül, a drótra hurkot hajlítunk, és ebbe akasztjuk bele a lemezt (b)



278. A gyertyalábon (általában szigetel-
ten) álló doboznak úgy adhatunk legna-
gyobb töltést, ha belsejébe dugjuk a
megdörzsölt fésűt. Ekkor legnagyobb a
fésű megosztó hatása

3. Kísérlet: a doboznak megosztással adunk töltést. A megdörzsölt fésűt dugjuk a dobozba. A lemez nagymértékben felemelkedik (278. ábra).

Miközben a fésű még benne van a dobozban, ujjunkkal érjünk hozzá a doboz oldalához — a fésű által eltaszított elektronok tesztünkön át a földbe folynak, a sztaniollemez kitérése megszűnik.

Vegyük el ujjunkat a doboztól, és csak ezután húzzuk ki a fésűt a dobozból: a lemez újra igen nagy mértékben felemelkedik, mert az elektronhiány az egész dobozban szétterjedt. A doboznak pozitív elektromos töltése van.

Az elektronok a vezető külső felületén helyezkednek el

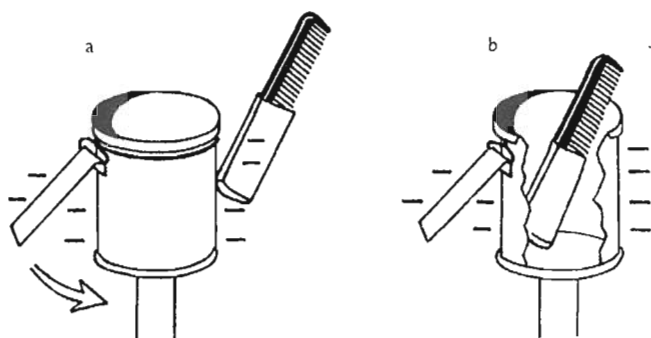
Kísérlet. A szigetelő lábon álló konzervdoboznak adjunk elektro-
mos töltést megdörzsölt fésű segítségével. Egy másik fésű végét pedig
fedjük be sztaniollappal. Így egy fémdarabunk lesz szigetelő nyélen.

a) Fogjuk meg a fésűt a nem fedett végénél, és a sztaniolos végét
érintsük a fémedény külső falához (279a ábra). Vizsgáljuk meg, hogy
van-e töltése a sztaniolnak. Ez legegyszerűbben úgy történik, hogy a

sztanioldarabot a konzervdoboz oldalán levő és felemelkedett sztaniollemezhez közelítjük. — A fésű végén levő sztanioldarabka taszítja a sztaniollemezt.

Az edény külső felületéről tehát sikerült elektromos töltést levenni.

Ha többször egymás után érintjük a fésű végén levő sztanioldarabkát az edény külső felületéhez és minden érintés után hozzá is nyúlunk ujjunkkal a fésű végén levő sztanioldarabhoz, azt látjuk, hogy egyre csökken a doboz oldalán levő sztaniollemezke kitérése, mert egyre kevesebb töltés marad a dobozon.



279. Az elektromos töltésű, üres konzervdoboznak csak a külső felületéről vehetünk le elektromos töltést (a), a belsejéről nem (b)

b) Most pedig az edény **belső** felületéhez érjük hozzá többször egymás után a szigetelő nyélen tartott sztanioldarabbal (279b ábra), és próbáljuk ily módon csökkenteni a doboz töltését (minden érintkezés után kézzel megérintjük a fésűn levő sztanioldarabot).

Azt vesszük észre, hogy többszöri próba után sem csökken a doboz oldalán levő sztaniollemez kitérése.

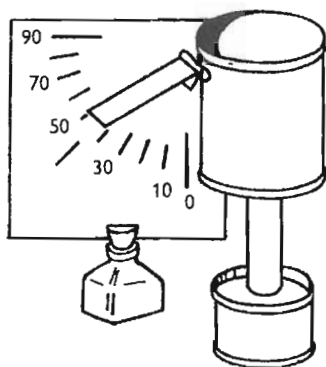
A fémedény **belső** felületéről vagy egyáltalán semmi, vagy pedig nagyon kevés elektromosságot sikerül levenni, tehát — az elektromos töltés a vezető külső felületén helyezkedik el. Ennek az az oka, hogy az elektronok mind negatívok, ezért taszítják egymást, igyekeznek minél távolabb elhelyezkedni egymástól.

Megmérjük a töltésvesztés sebességét

Levelezőlap vastagságú papírból készítsük el a 280. ábra szerinti beosztást. A papírlapot egy kis üveg dugójába metszett nyílásba szorítjuk, és készen van elmozdítható skálánk.

Állítsuk a skálát a sztaniollemezzel ellátott konzervdobozunk mögé. A skálán jól megfigyelhetjük a lemez kitérésének nagyságát és változását.

Kísérlet. Töltsük meg dobozunkat, és jegyezzük meg, hogy mennyire tért ki a lemez. — Figyeljük meg óránkon, hogy hány perc múlik el addig, amíg a lemez a skála feléig esik vissza, vagy még jobb, ha a lemeznek például 50° -ról a 30° -ra való visszatéréséhez szükséges időt figyeljük különböző alkalmakkor. Egyik kísérletünkben ehhez 5-10 min volt szükséges.



280. Ha a sztaniollemez mögé papírra rajzolt beosztást állítunk, akkor mérőkísérletet is végezhetünk

**Bebizonyítjuk, hogy az ionok rövidebb ideig élnek,
mint egy másodperc**

Ha a szigetelő lábon álló, megtöltött konzervdoboz mellett 5-10 cm távolságban gyufát gyújtunk, a doboz azonnal elveszti töltését, amint már ezt egy régebbi kísérletben is tapasztaltuk. A láng roppant sok iont termel a levegőben, ezek az elektromos töltésű test felé repülnek,

rarakódnak, és ellenkező előjelű töltésükkel végül semlegesítik a doboz töltését. — **Milyen távolságra tudnak elszállni az ionok a levegőben attól a lángtól, ami kelti őket?** Nagyon egyszerűen megmérhetjük ezt a távolságot.

1. Kísérlet. Elektromosan töltött konzervdobozunktól 50 cm-re tegyünk egy égő gyertyát, és figyeljük a lemez kitérésének csökkenését. Azt tapasztaljuk, hogy a töltésvesztés nem gyorsabb, mint gyertya nélkül.

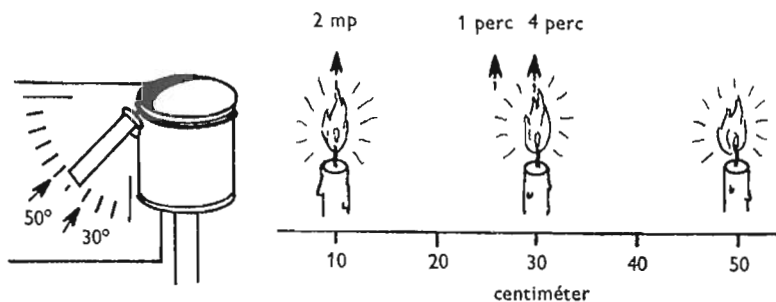
Tehát a láng által keltett ionok nem jutnak el még fél méternyire sem a nyugvó levegőben.

Töltsük meg újra a dobozt úgy, hogy kellőképpen kitérjen az oldallemez, és tegyük az égő gyertyát 30 cm távolságra. Figyeljük meg, hogy van-e hatása az ionizációnak. Azt tapasztaltuk egy kísérletben, hogy most a lemez 4 perc alatt esett 50°-ról 30°-ra (281. ábra). Tehát 30 cm-ről már sok ion éri el a dobozt.

Újra töltsük meg a dobozt, és tegyük az égő gyertyát 25 cm távolságra. 1 perc alatt esik annyit, mint előbb. Tehát most 4-szer több ion érkezik a dobozhoz percenként, mint előbb.

12,5 cm távolságban pedig 2 mp alatt esik vissza a lemez 50°-ról 30°-ra, tehát 30-szor több ion ér a dobozhoz.

Ezek a kísérletek azt bizonyítják, hogy esetünkben a láng által keltett ionok legfeljebb 40-50 cm utat tudnak megtenni, ezen a távolságon minden ion visszaalakul természetes levegőmolekulává.



281. Mérőkísérlet annak megállapítására, hogy különböző távolságokból mennyi ion érkezik a konzervdobozhoz

Ha tudnánk, hogy milyen sebesen mozognak az ionok, akkor könnyű lenne kiszámítani, hogy meddig élnek: addig, amennyi idő alatt 40-50 cm messzire repülnek.

Az ionok is a levegőben levő gázok alkotórészei, tehát ezek is olyan sebesen repülnek, mint a levegőben levő többi gázmolekula. A levegő molekuláinak átlagos sebessége a szobahőmérsékleten mintegy 600 m/s, vagyis 100 cm messzire 1/600 s alatt szállnának. — Csakhogy röptükben összeütköznek egymással, és ezért ahhoz, hogy 100 cm távolságra eljussanak egyenes irányban, sokkal több időre van szükség, mint az előbb számított kb. félezred másodperc.

2. Kísérlet: tapasztalatot szerzünk az ionok sebességéről. A megtöltött konzervdobozhoz a távolból közelítsük hirtelen az égő gyertyát, és álljunk meg kb. 12 cm távolságban. Feladatunk annak megfigyelése lesz, hogy mennyi idő múlik el a gyertya odahelyezésének pillanata és a lemez esésének kezdete között. Azt tapasztaljuk, hogy szinte abban a pillanatban kezd a lemez esni, még fél, harmadmásodpercig sem kell várni (ennyi időt meglehetősen jól tudunk még megbecsülni) — pedig ily rövid idő alatt már billiónyi ionnak kellett a dobozhoz érni, hogy a töltésvesztés észrevehető legyen.

Mondhatjuk, hogy nem múlt el több idő, mint legfeljebb 1/15 s, mialatt a 12 cm-es utat megtették az ionok. — Ezért az 50 cm-es út megtételére 1 s-nál kevesebb idő lenne szükséges. De amint láttuk, az ionok már nem tudnak eljutni 50 cm távolságra, addigra már semleges gázmolekulákká egyesültek.

A kísérletünkben szereplő ionok átlagos élettartama tehát valóban kevesebb, mint 1 s.

Gondolkozzunk. A villámokról készült felvételek azt mutatják, hogy az első villám által vágott úton igen rövid időközökben több villám is futhat át. — Sokszor szabad szemmel is észrevevesszük, hogy majdnem ugyanazon a vonalon több villám követi egymást roppant rövid időközökben. De aligha láttunk még ugyanazon a helyen 1-2 s-os időközökben átütni villámot. — Mi ennek az oka?

A villám tűzcsatornája ionizálja, vezetővé teszi a levegőt. Ez az ionizált állapot egy másodpercnél is rövidebb ideig marad csak fenn —

kísérletünk szerint. Az elektromos áram, az elektromos szikra a kisebb ellenállási utat választja — amíg ez az állapot fennáll. Ez az oka annak, hogy ha nagyon gyorsan követi két villám egymást, akkor ugyanazon a helyen üt át a második is, de ha hosszabb idő telik el a két villámcsapás között, akkor a második villám máshol üt át.

A radioaktív sugárzás által okozott ionizáció

Egy tájékoztató mérés

Eddigi kísérleteinkhez csak olyan eszközök voltak szükségesek, amelyeket könnyen megtaláltunk a háztartásban, sőt a hulladékban. Vajon találunk-e ugyanitt radioaktív anyagot is? Igen! A háztartásban is található radioaktív anyaggal végezzük majd el később a kísérletet. De most előljáróban egy kísérletet írok le, amelyet valóban hulladékkal végeztem. Sajnos, ehhez a hulladékhoz ma már nem juthatunk hozzá.

A petróleumlámpában és a gázlámpában a láng felett egy sapka van, amelynek szövetét tóriumot tartalmazó folyadékkal itattak át. A tórium pedig radioaktív.

A ma gyártott függő sapkában kevés a tórium a régebbi hosszú, álló gázharisnyákhoz képest. Ezeknek a régi, gazdag tóriumtartalmú gázharisnyáknak a gyártási hulladéka eléggé ionizálja a levegőt ahhoz, hogy a konzervdobozos összeállításunkkal feltűnő mértékben kimutathassuk.

Kísérlet. A szigetelő lábon álló, elektromossággal töltött konzervdoboz mellé teszünk egy hamutálat, benne régi gázharisnya-hulladékkal. — A sztaniollemez szemmel látható sebességgel esni kezd.

Kísérletünkben a lemez 10-szer gyorsabban esett, mint akkor, ha a sugárzó anyag nem volt ott (0,5 min alatt esett le 50°-ról 30°-ra).

Régi gázharisnyaanyaghoz ma már nem juthatunk hozzá, de kapható az újfajta petróleumlámpa vagy gázlámpa sapkája. Ha ezzel

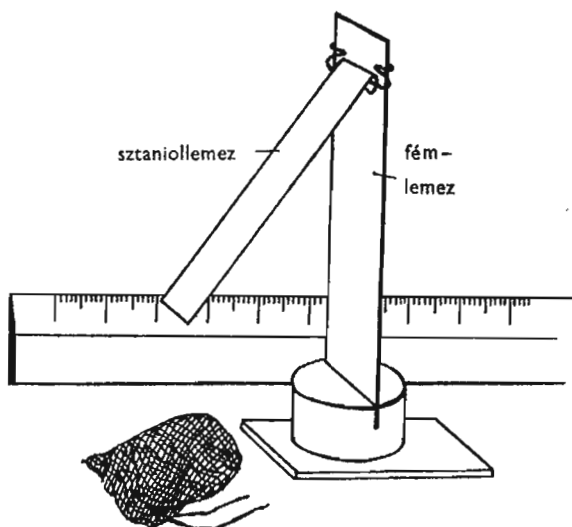
próbáljuk az előző kísérletet, nem sikerül. Nem vesszük észre azt, hogy sebesebben esik a sztaniollemez.

Ennek oka egyszerű: a konzervdoboz elektromos töltése aránylag sok azoknak az ionoknak a számához képest, amelyeket a sapka termel.

De mégis kitűnően kimutathatjuk a sapka csekély radioaktivitása keltett ionizációt is, ha 2-3 min alatt olyan elektromosságjelző eszközt készítünk, amelynek elektromos töltése csekély, de lemeze mégis jól felemelkedik.

Amit mindenki elvégezhet

Egy bél nélküli **gyertyadarabkába** tűzzünk bele 5-8 cm hosszú, kb. 1 cm széles egyenes **fémlemez**t. A fémlemezre a felső vége felé drótot tekerünk, és ennek hurkába függesztünk egy sztaniollemezt (ugyanúgy, mint előbb a konzervdobozra, 282. ábra). A gyertyát



282. Kis elektromos befogadóképességű elektroszkóp. — Az önmagától világító (radioaktív) festékkel bevont óramutatóból, vagy a gázlámpasapkától kiinduló gyenge radioaktív sugárzás ionizáló hatását is kimutatja

kemény papírlapra ragasztjuk. Minthogy az elektroszkópunknak kicsiny a felülete, kevesebb elektromosság halmozódik fel rajta, ha megtöltjük.

A kis elektroszkópot megosztással töltjük meg, vagyis a megdörzsölt fésűvel közeledjünk a tartó lemezhez, azután megérintjük ujjunkkal vagy valami vezető tárggyal az elektroszkópot, és miután elvettük az érintő tárgyat, a fésűt is elvesszük.

Az elektroszkóp mögé az asztallapra egy centiméterskálát fektetünk, amin jól látjuk, hogy mennyire tért ki a sztaniollemez.

1. Kísérlet. Egy óra segítségével figyeljük meg, hogy elektroszkópunk sztaniollemeze mennyi idő alatt esik egy beosztásnyit. — Például 1,5 min alatt.

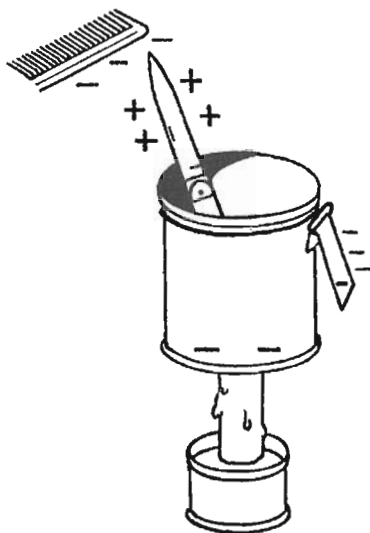
A lámpasapkát tegyük közvetlenül az elektroszkóp mellé, és töltjük meg újra az elektroszkópot. — Figyeljük megint a sztaniollemezt, hogy kitérése mennyi idő alatt csökken egy beosztással. — Például azt találjuk, hogy 0,5 min alatt. Tehát a lámpasapkában levő tórium valóban ionizálta a levegőt, mert elektroszkópunk 3-szor sebesebben veszítette el töltését.

2. Kísérlet: világító számlapú karóránkon (zsebóránkon) is lehet, hogy radioaktív világító festék van. — Vegyük le óránkról az üveget, és az órát tegyük a megtöltött elektroszkóp mellé. **Ha jó minőségű aktív világító festék van óránkon, akkor az elektroszkóp másodpercek alatt elveszíti töltését.**

A villámhárító

A csúcshatás

Kísérlet. Szigetelő lábon álló konzervdobozunkba tegyünk bele egy kinyitott zsebkést úgy, hogy a kés hegye felfelé álljon. A megdörzsölt fésűt húzogassuk ide-oda a késhegy előtt, tőle kb. 0,5 cm távolságban (283. ábra). — Azt látjuk, hogy a sztaniollemez egyre jobban felemelkedik, tehát a dobozban egyre nagyobb lesz az elektromos töltés.



283. Húzzunk el a kés csúcsa előtt megdörzsölt fésűt. A konzervdoboz negatív töltést nyer

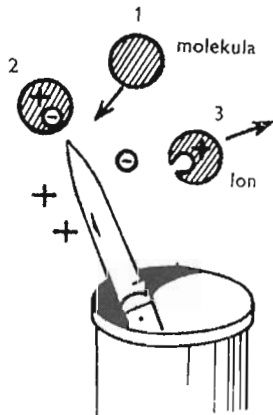
(A doboz peremére felfelé álló hegygyel gombostűt is helyezhetünk, és a tűhegy felett mozgatjuk a megdörzsölt fésűt.)

Vegyük el a fésűt. A doboz sztaniolemeze felemelkedve marad, tehát a doboz megtartotta elektromos töltését.

Milyen töltést nyert a doboz? A megdörzsölt fésű elektromos töltése negatív. Közelítsük a fésűt a sztaniolemmezhez. Taszítja. Ezért a dobozon negatív töltés, elektronbőség van.

Íme, amikor a csúccsal ellátott konzervdoboz előtt mozgattuk a negatív elektromosságú fésűt, a konzervdoboz negatív elektromosságúvá lett. Úgy látszik, mintha a fésű negatív elektromossága a csúcson át kiszívta volna a dobozból a pozitív elektromosságot, és ez maradt a dobozban a negatív elektromosság.

A helyesebb magyarázat a következő (284. ábra): A kés hegye — a közelében levő negatív fésű megosztó hatása miatt — pozitív elektromosságú lesz. A késhegynek (általában csúcsnak) az a tulaj-

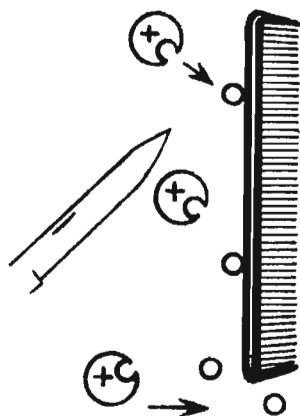


284. A pozitív töltésű késhegyre a levegő semleges molekuláiról levált elektronok rakódnak. — A pozitív töltésű maradék molekulát a pozitív töltésű késhegy eltaszítja

donsága, hogy a csúcsos helyeken nagy az elektromosság sűrűsége. Ha a levegő egy semleges molekulája nekiütözik a késhegynek (a 284. ábrán az 1. molekula), a molekula lead egy elektront az elektronhiányban szenvedő csúcsnak (2. molekula). De ezáltal magában a molekulában keletkezik elektronhiány (3. molekula): a molekula pozitív töltést nyer (mintha a pozitív elektromos késhegytől nyert volna pozitív töltést). A késhegy eltaszítja az így keletkezett pozitív iont. Így növekszik a konzervdobozban az elektronok mennyisége, az elektromos töltés.

Miért kell mozgatni a fésűt a csúcs előtt?

Kísérlet: a pozitív csúcstól elrepülő pozitív levegőionok a fésűre ülnek. A következő kísérletsorral kimutatjuk, hogy a megdörzsölt fésű elektromos töltése jelentősen kisebb lesz, miközben a csúcs előtt mozgatjuk a fésűt.



a) Nézzük meg, hogy a megdörzsölt fésűnek mekkora megosztó hatása van (dugjuk a dobozba és figyeljük meg a lemez felemelkedését). Ebből következtünk a fésű elektromos töltésének nagyságára.

b) Vegyük ki a fésűt, és érzünk kezünkkel a dobozhoz, hogy elvezessük esetleges töltését.

285. Az elektronhíjas ionok a késhegytől az elektronokban bő fésűhöz repülnek, és egyesülnek az ott levő elektronokkal. — Megszűnik a fésű negatív töltése

c) Mozgassuk a fésűt a csúcs előtt. A doboznak elektromos töltése lesz.

d) Érzünk hozzá kezünkkel a dobozhoz, újra semleges lesz.

e) Dugjuk a csúcs elől előbb elvett fésűt a dobozba: a lemez felemelkedése sokkal kisebb, mint az a) esetben. — Ez azt bizonyítja,

hogy a fésű töltése most sokkal kisebb, sokkal kevesebb elektron van rajta, mint először.

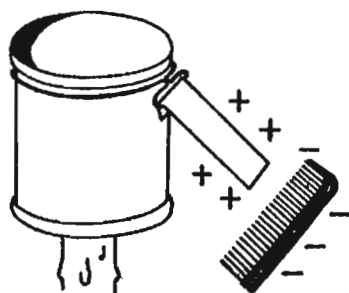
Magyarázat: a késhegytől eltaszított, elektronhiányos ionok most a fésűhöz repülnek, és az elektronból fésű egy-egy elektronjával egyesülve újra semleges molekulát alkotnak (285. ábra). — A fésű töltésvesztése elsősorban a csúcshoz legközelebb eső helyen következik be. A fésűt tehát mozgatni kell, hogy folyton újabb, még elektronfelesleggel rendelkező részei kerüljenek a csúcs elé.

Felesleges a külön csúcs

A sztaniollemez kb. 0,01 mm vastag csak. Tehát a dobozra akasztott sztaniollemez éleinek is kell csúcshatást mutatniuk.

Kísérlet. A semleges állapotú szigetelő alapon álló konzervdoboz sztaniollemezéhez közelítsük a megdörzsölt fésűt, és mozgassuk néhány másodpercig (286. ábra). A doboz negatív töltést nyer.

Ez az oka annak, hogy a nagyfeszültségű gépeken kerülnek a csúcsokat, éleket — legömbölyítik azokat, sőt még vékony vezetéket sem alkalmaznak.



286. A dobozra akasztott sztaniollemez éle is mutatja a csúcshatást

Szíkra a konzervdobozból

1. **Kísérlet.** Dugjuk bele a megdörzsölt fésűt a szigetelő lábón álló konzervdobozba, érintsük kezünkkel a dobozt, azután vigyük el a fésűt. Amint tudjuk, a doboz elektromos töltést kapott. — Ha ujjunk-

kal vagy fémtárggyal (például kulccsal) közeledünk a dobozhoz, 1-2 mm-es fényes szikra pattan ki belőle.

2. Kísérlet. Fogjunk kezünkbe egy gombostűt (vagy ollót, nyitott kést), és hegyével közeledjünk a megtöltött dobozhoz, közben figyeljük a sztaniollemezt. — A lemez rohamosan esik — ami a gyors töltésvesztés jele —, és végül csak egy kis szikra ugrik a doboz és a tű hegye között.

A villámhárító működése kísérleteink alapján (287. ábra). A felhő megosztja a házban levő elektromosságot. A ház tetején a felhő elektromosságával ellenkező jelű elektromosság lesz — ez és a felhő elektromossága vonzzák egymást, ennek eredménye erős kisülés, villám lehet.



287. A villám és a villámhárító

De ha fémcsúcs (villámhárító) van a ház tetején, akkor a fémcsúcson keresztül elveszti a ház a felhővel ellenkező jelű töltést — megszűnik a vonzóerő (illetve kisebb lesz). — Ha történik is villámcsapás, erőssége kisebb, és az elektromos áram a villámhárító földelt vezetékén át a földbe jut anélkül, hogy kárt okozna.

Gondolkozzunk: konzervdobozos kísérletünkben a késhegytől elre-

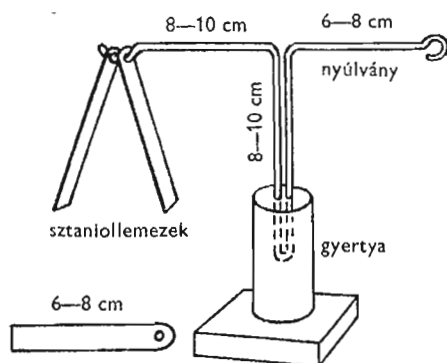
pülő pozitív ionok semlegesítették a fészű elektromos töltését. Igaz-e, hogy a villámhárítótól elrepülő ionok is részben semlegesítik a felhő töltését (mint egyes könyvekben olvashatjuk)?

Felelet: kísérleteinkben láttuk, hogy az ionok csak néhány centiméter utat tesznek meg, azután elektront ragadnak magukhoz, semleges molekulává lesznek. Tehát az **eredeti** ionok nem juthatnak a villámhárítótól a felhőhöz.

A kétlemezes elektroszkóp

Néhány perc alatt elkészíthetjük. Kényelmesebb eszköz, mint a fészűelektroszkóp, és vele is elvégezhetők az eddig leírt kísérletek.

Az eszköz. Egy üres gyufásdoboz, bél nélküli gyertyadarabka, 30-40 cm hosszú drót és sztaniolpapír-darabka szükséges a 288. ábra szerinti elektroszkóp elkészítéséhez.



288. A kétlemezes elektroszkóp

A tartódrót és a nyúlvány egyetlen drótból áll. Erre a célra igen alkalmas a ruhaszárításra használt, vastag alumínium drót. A drót alsó, meghajlított részét gyertyalángban megmelegítjük, és belenyomjuk a bél nélküli gyertyába.

Nagyon fontos az, hogy a sztaniollemezek felső részén szűrt lyukak lehetőleg közel essenek a lemezek felső végéhez, és ezt a felső véget

az ábra szerint kerekítsük le. Máskülönben a lyukak feletti lemezrészek egymásnak támaszkodnak a lemezek szétnyitásakor, és akadályozzák egymást. — A lemezek ne legyenek se túlságosan hosszúak, se nagyon keskenyek.

Az elektroszkóp nyúlványa többféle célt szolgál. Célszerű az elektroszkópot a nyúlványa segítségével tölteni, mert ha a tartódróton húzzuk végig a megdörzsölt fésűt, könnyen magához kapja a lemezeket. A csúcshatás kimutatásakor a nyúlványhoz erősítjük a tűt. A nyúlvány segítségével összeköthetjük elektroszkópunkat más testekkel, például a szigetelő lábón álló konzervdobozzal, és annak elektromos állapotát vizsgálhatjuk, a nyúlványra más testeket tehetünk stb.

Elektroszkópunk kitűnően tartja a töltést. Néhány kísérlet:

1. Ha elektromos testet közelítünk a töltés nélküli elektroszkóp lemezéhez, a lemezt maga felé vonzza.

2. Ha megdörzsölt fésűvel végigsimítunk a nyúlványon, a lemezek szétágaznak. Az elektroszkóp negatív töltésű lesz.

3. Megosztással adhatunk legnagyobb töltést az elektroszkópnak: a megdörzsölt fésűt a nyúlvány közelébe tartjuk, és közben egy pillanatra a dróthoz érünk. — Így az elektroszkóp pozitív töltést nyert.

4. Ha a **megtöltött elektroszkóp** közelében gyufát gyújtunk, a lemezek szétágazása megszűnik.

5. Ha a nyúlványra kötött gombostű hegye előtt megdörzsölt fésűt húzunk el, az elektroszkóp negatív töltést nyer (csúcshatás).

6. Ha a **megtöltött elektroszkóp** nyúlványához fémdarabbal, fadarabbal, száraz papírral, gyertyával stb. hozzáérünk, a lemezek gyorsabb vagy lassúbb összeeséséből a testek elektromos vezetőképességére következtetünk.

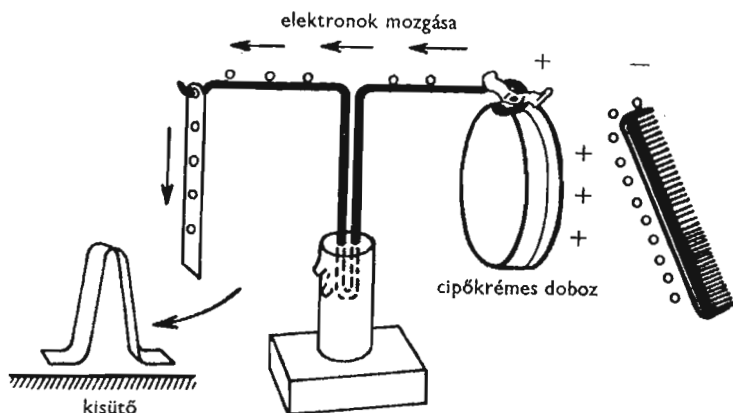
Töltésmérő hulladékból

Az igazi tudomány ott kezdődik, ahol mérni is tudunk. Percek alatt készíthetünk olyan egyszerű eszközt, amellyel az elektronok, az elektromos töltések mennyiségét számbelileg is meg tudjuk mérni, hasonlóan ahhoz, mint például egy merőkanál segítségével meg tudjuk

állapítani azt, hogy egy edényben hány adag leves van az egyik esetben és hány a másik esetben.

Eszközünk a kétlemezes elektroszkópból készül. Emeljük le róla az egyik lemezt, hogy a dróton csak egy sztaniollemez maradjon.

Ezután a másik drótvégre egy üres cipőkrémes fémdobozt teszünk. Ez úgy történik, hogy két lyukat ütünk a dobozon, és áttoljuk rajtuk a drótot, de még jobb az a megoldás, hogy a drót végét horog alakúra görbítjük, és erre akasztjuk fel a dobozt a doboznyitó lemezke segit-



289. Gyorsan elkészíthető billegő lemezes elektroszkóp. — Miközben a fésűt közelítjük a cipőkrémes dobozhoz, a drót másik végére függesztett sztaniollemez billegni kezd. Minden billenéskor a kiszütőhöz ér, és egy adag elektron távozik a földre a kiszütőn át. Kísérletünk alkalmával a drótban egybilliomod ampernél is gyengébb elektronáram folyik

ségével (289. ábra). — Ily módon a dobozt könnyen rátehetjük, levehetjük az elektroszkópról.

Most még egy fémlamezt vagy szigetetlen drótot olyan alakúra hajlítunk, hogy ha a sztaniollemez mellé állítjuk, akkor a kibillenő sztaniollemez nekiütőközhessék és elveszíthesse töltését. Nevezzük ezt a közelebb-távolabb állítható kis eszközt **kiszütőnek**. Ezt a kiszütőt szigetelés nélkül állítsuk az asztallapra. Ezzel készen van a billegő lemezes elektroszkópunk, a billegő lemezes töltésmérőnk.

Kísérlet. Állítsuk a kisütőt kb. 0,5 vagy 1 cm-nyire az elektroszkóp lemezétől úgy, hogy a kisütő a sztaniollemez aljával álljon szemközt (a 289. ábra szerint).

Száraz papírral megdörzsölt fésűvel közelítsünk mintegy 0,5 m távolságból lassan a cipőkrémes doboz felé. Azt látjuk, hogy a sztaniollemez lassan a kisütő felé kezd hajlani, hozzáér, aztán visszaugrik, majd újra közeledik, érintkezik, visszaugrik. Ezt a billegést 8-12-szer is elvégzi, mialatt a fésűvel kb. 1 cm-nyire megközelítjük a cipőkrémes dobozt (ne érnünk hozzá!). Most távolítsuk lassan a fésűt az elektroszkóptól. Meglepődve tapasztaljuk, hogy a sztaniollemez ismét billegni kezd, és megint 8-12-szer, hallható kattanással ütődik a kisütőhöz.

Ha a fésűt (anélkül, hogy újra megdörzsölnénk) ismét közelítjük az elektroszkóphoz, majd lassan távolítjuk tőle, a sztaniollemezt perceként át tartó állandó billegésben tarthatjuk.

Mielőtt rátérnénk további kísérleteinkre, meg kell magyaráznunk e jelenséget, és akkor rögtön világossá válik az ezzel az egyszerű eszközzel végezhető **mérések** elve is.

Magyarázat: az elektroszkópban egyenletesen elosztva szabad elektronok vannak (289. ábrán a körök). Az elektronok töltése negatív. Negatív a megdörzsölt fésű töltése is. Ha a fésűt közelítjük, a fésű negatív töltése eltaszítja a szabad elektronokat az elektroszkóp távolabbi részébe, így az elektroszkóp lemezén elektronbőség keletkezik, a lemeznek elektromos töltése lesz.

Tudjuk, hogy az elektromos test és a természetes állapotban levő test között elektromos vonzás hat. Tehát a negatív töltésű lemez és a közelében álló kisütő között ható vonzóerő a lemezt elmozdítja a kisütő felé. Abban a pillanatban, amikor az elektroszkóp lemeze hozzáért a kisütőhöz, a lemez elektromos töltése a kisütőn át a földre távozik. A lemez újra természetes állapotába kerül, visszabillen nyugalmi helyzetébe.

Most még közelebb mozdítjuk a fésűt az elektroszkóphoz. A közeledő fésű negatív elektromossága megint mozgatni kezdi az elektrosz-

kópban még jelen levő szabad elektronokat a sztaniollemez felé. A lemez újra negatív töltést kap, újra billegni kezd a kisütő felé, és így tovább.

A mérés elve

Amikor a feltöltődő és kibillenő lemez a kisütőhöz ér, elektronmennyisége a földre távozik. Ha például az érintkezés tízszer történik meg, akkor tízszer távozik bizonyos elektronmennyiség a kisütőn át a földre.

Vajon ez az eltávozó mennyiség minden egyes érintkezéskor ugyanannyi? Igen! Ahhoz ugyanis, hogy az elektroszkóp lemezét a vonzás a kisütőhöz emelje, bizonyos nagyságú erő kell. Ennek az erőnek a nagysága (ha összeállításunkat ugyanabban a helyzetben hagyjuk) csakis a lemezen összegyűlt elektronok mennyiségétől függ. Minthogy a vonzóerő minden billenéskor ugyanakkora, ugyanakkora az egyes kisülésekkor a földre távozó elektronok mennyisége is.

Tehát az érintkezések (kisülések) száma arányos a kísérletekben szereplő elektronok mennyiségével.

Íme: eszközünkkel elektronokat, elektromos töltéseket mérhetünk.

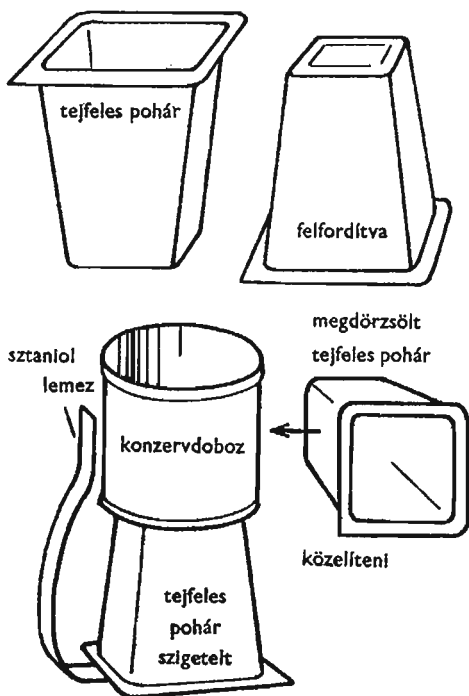
Hihetetlen érzékenység. Az a kérdés, hogy e roppant egyszerű eszközzel mekkora elektromos mennyiség mérhető meg? Tekintsünk megbecsüléssel készülékünkre, mert nincsen a világnak olyan árammérője, galvanométere, amelyikkel olyan gyenge áramot, olyan kis elektromos töltésmennyiséget ilyen egyszerűen meg lehetne mérni, mint a mi eszközünkkel.

A legérzékenyebb — közvetlenül mutató — áramjelző megérez egybilliomod ampert (10^{-12} A). Miközben a fésűt lassan közelítjük az elektroszkóphoz, a lemezt tartó drótban még a billiomod ampernél is gyengébb elektronáram folyik. Ezért eszközünkkel még gyengébb áramokat hasonlíthatunk össze, még kisebb elektromos töltéseket mérhetünk, mint a technika minden fortélyával készült fénymutató áramjelzőkkel, csak persze nem olyan pontosan.

Kísérletek a legegyszerűbben

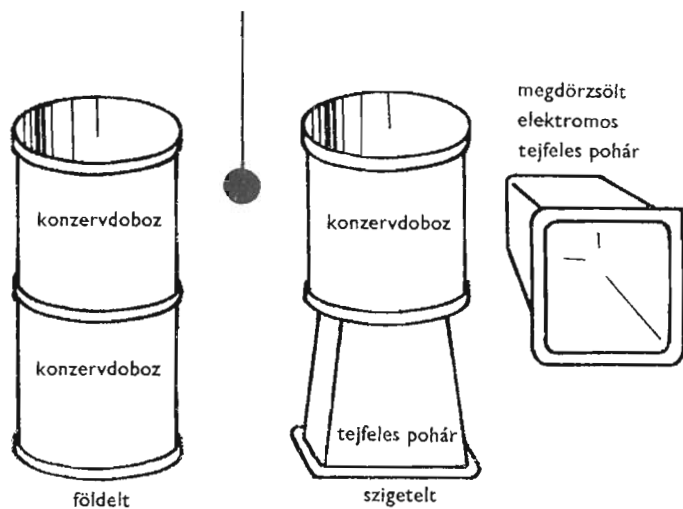
Eddigi kísérleteink nagyon érdekesek és egyszerűek voltak. De még egyszerűbbek és pillanatok alatt összeállíthatók, ha nem bél nélküli gyertyadarabkát alkalmazunk szigetelőként, hanem olyan műanyag pohárkát, amelyben a tejfölt, a kefir, a túrót árusítják (290. ábra). Mossuk meg, azután szárítsuk meg ezeket az üres edénykéket, azután állítsuk őket nyílásukkal lefelé, és kitűnően szigetelő alapzataink lesznek. Egyszerűen ráhelyezzük a konzervdobozt, az elektroszkópot, és nem kell gyertyalábas szigeteléssel bajlódniuk.

Könnyen változtathatjuk szigetelő alapzatunk magasságát is, egyszerűen levágunk a műanyag edénykéből annyit, amennyi szükséges. Néhány példa arra, hogy kísérleteink mennyire leegyszerűsödnek :

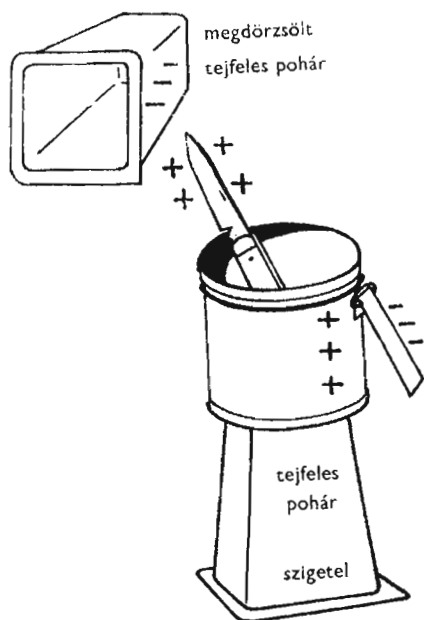


290. A kis edénykék szigetelő műanyagból készültek. A felfordított üres edénykék kitűnően szigetelő alapzatok a gyertya helyett

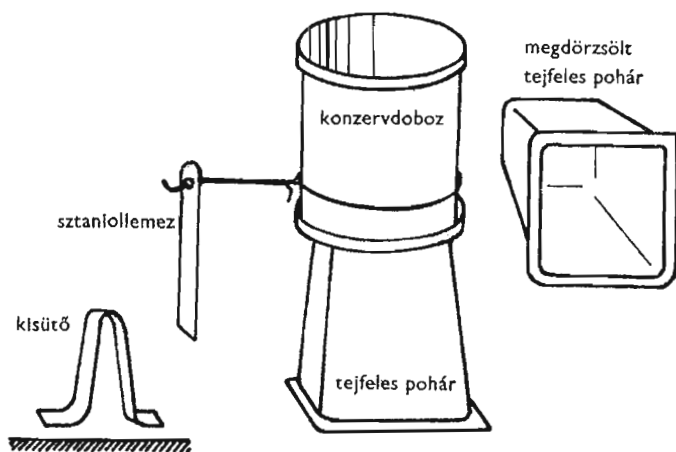
291. Csókolódzó kisbaba a legegyszerűbben



292. Harangjáték pillanatok alatt



293. Kísérlet a csúcshatásra. Összeállítás másodpercek alatt



294. A 361. oldalon látható billegő lemezes elektrozkóp gyors összeállításban

Például a 341. oldalon látható csokolózó kisbabát a 291. ábra szerint állíthatjuk össze gyorsan és egyszerűen. Még fésűre sincs szükségünk kísérleteinkben, kitűnően alkalmazható fésű helyett is a megdörzsölt tejfölsőpohár, illetve a tejfeles pohár lemetszett oldallapja. Külön dörzsölő anyagról nem kell gondoskodnunk, mert a tejfeles pohárról lemetszett oldallapot egyszerűen elhúzzuk összeszorított hüvelyk- és mutatóujjunk között – és máris helyettesítheti a megdörzsölt fésűt.

A 343. oldalon látható elektromos harangjátékot ezzel az egyszerűbb szigeteléssel a 292. ábra mutatja.

A csúcshatás pedig a 355. oldalon látható összeállítás helyett szintén pillanatok alatt kimutatható a 293. ábra szerint.

Vagy: a konzervdobozból távozó elektronok mennyiségét a 294. ábra szerinti gyors összeállítással mérhetjük a 361. oldalon látható gyertyás szigetelés helyett!

A lakásban rendszerint vannak műanyag poharak, műanyagból készült poháralátétek, kis tálcák. Vizsgáljuk meg őket, hogy szigetelők-e. Ezeket is használhatjuk szigetelőként.

Az elektromos harangjátékban az ide-oda lengő pingponglabda szállította el az elektronokat a cipőkrémes dobozból a földre és hozta vissza. Most a billegő lemez teszi ugyanazt. Már a harangjátékkal is sikerült közelítőleg kimutatni, hogy a fésű **távolítása** közben is annyit ugrik a pingponglabda, mint a fésű közelítésekor. Ezt a jelenséget pontosabban lehet tanulmányozni a billegő lemezes töltésmérővel.

Kísérlet. Száraz papírral dörzsöljünk meg egy műanyag fésűt, és közeledjünk vele lassan az elektroszkóp nyúlványára erősített cipőkrémes dobozhoz, de ne érjünk hozzá. A sztaniollemez egymás után többször a kisütőhöz billen, érintkezik vele, visszaugrik.

Ezután távolítsuk **lassan** a fésűt. Közben a billegés tovább tart: **a lemez a fésű távolításakor is annyit billen, mint az előbb a közelítéskor.**

Hogy miért billeg a lemez a fésű közelítése közben, azt már a készülék leírásakor megmagyaráztuk. De **miért billeg a távolításakor is, és miért billeg mindkét esetben ugyanannyit?**

A régebbi magyarázat: a természetes állapotú testben ugyanannyi pozitív és negatív elektromosság van. A fésű negatív elektromossága **megosztja** az elektroszkópban levő kétfajta elektromosságot. A pozitív elektromosságot maga felé vonzza, a negatív elektromosságot eltaszítja. Ezért az elektroszkóp billegő lemeze negatív elektromosságú lesz, a kisütőhöz vonzódik, hozzáér, és a felgyülemlett negatív elektromosság a kisütőn át a földre távozik.

Miközben közelítjük a fésűt, egyre nagyobb mértékű lesz a megosztás, egyre újabb elektromos töltések válnak szét, egyre több pozitív elektromosság gyűlik össze a fésűvel szemközt levő cipőkrémes dobozban, és egyre több negatív elektromosság távozik a billegő lemezen át a földre.

A pozitív elektromosság mindaddig nem távozhat el a cipőkrémes dobozból, amíg közelében tartjuk a fésűt, hiszen a fésű negatív elektromossága vonzza, **lekötve tartja** a doboz pozitív elektromosságát.

De ha lassan **távolítani** kezdjük a fésűt, akkor a vonzás ereje egyre gyengül, a doboz pozitív elektromosságának egyre nagyobb része szabadul fel, és terjed szét az elektroszkópban, így a billegő lemez pozitív töltésű lesz. Az elektromos vonzás miatt a sztaniollemmez újra a kisütőhöz vonzódik, kibillen.

Az érintkezés pillanatában a kisütőn át annyi negatív elektromosság áramlik a földből a lemezre, amennyi a lemezen levő pozitív elektromosságot semlegesíti. Mivel a fésű távolítása közben mindig újabb pozitív elektromos mennyiségek szabadulnak fel, a kisülés, a billegés mindaddig tart, amíg az összes pozitív elektromosságot újra nem semlegesítette a földből visszaáramló negatív elektromosság. Ekkor az elektroszkóp megint természetes állapotú (semleges) lesz.

Mivel kísérletünkben a fésű távolításakor ugyanannyit billen a lemez, mint közelítéskor, azért (mondja a régi elmélet) a testben szétvált pozitív és negatív elektromos mennyiségek egyenlők egymással. Ezen elmélet szerint a pozitív elektromosság éppen úgy terjed a testben, mint a negatív elektromosság.

Az új magyarázat mást mond. Eszerint a fésű közelítésekor az elektroszkópban levő szabad elektronok mozdulnak el a billegő lemez felé, elektromos töltést adnak a lemeznek, a lemez a kisütőhöz billen, töltése kisül, s a lemez természetes állapotú lesz.

Ha pedig távolítjuk a fésűt, akkor a billegő lemezben jelen levő elektronok egy része visszaáramlik a dobozra, ahonnan a fésű eltaszította az elektronokat. De az elektronok visszaáramlása miatt most meg az előbb még semleges billegő lemezen lesz elektronhiány. Emiatt a lemez pozitív töltést mutat (elektronhiány = pozitív elektromos állapot). A lemez a kisütőhöz vonzódik, érintkezés közben annyi elektron áramlik rá vissza a földből, amennyi elegendő elektronhiánya pótlására.

Ha még tovább távolítjuk a fésűt, akkor taszító hatása egyre csökken, további elektronok áramlanak vissza a lemezről a dobozba, a lemezen megint elektronhiány jelentkezik, a kisütőhöz billen, felveszi a földből a szükséges elektronmennyiséget, és így tovább. A játék mindaddig tart, amíg az összes eltávozott elektronmennyiség vissza

nem jön. Tehát természetes, hogy a lemez a fésű eltávolításakor ugyanannyit billen (ugyanannyi elektronmennyiséget mér), mint a fésű közelítésekor.

Melyik magyarázat a helyes? Az első magyarázatnak az a nagy gyengéje, hogy feltételezi: az elektroszkóp fémanyagában van valami olyan pozitív elektromosság, ami mozog, terjed a vezetőben. Ez tévedés, mert a fémes vezetőben semmiféle pozitív elektromosság nem terjed, nem mozog, nem áramlik. Kizárólag a negatív szabad elektronok áramlanak egyik helyről (például a dobozról) a többi rész felé. Ahonét eláramlottak az elektronok, ott elektronhiány van. Ilyenkor mondjuk azt, hogy azon a helyen pozitív töltés van. A másik helyen pedig, ahol fölöslegben vannak az elektronok, elektronbőség (negatív töltés) van.

Nagyon fontos tény derül ki kísérletünkéből. Azt tapasztaltuk, hogy miközben a fésűvel közeledtünk az elektroszkóphoz, a lemez többször egymás után kibillent, tehát egyre több elektron távozott. Ez arra mutat, hogy amikor a fésűt az elektroszkóp közelébe tettük, az elektroszkópban levő egész szabad elektronmennyiség nem tolódott el azonnal a billegő lemezbe, hanem az elektronoknak csak egy része. A kísérlet szerint az eltolódott elektronok mennyisége attól függ, hogy mekkora a fésű elektromos töltése, s milyen közel tartjuk a fésűt a dobozhoz.

És most **felvetődik egy érdekes kérdés**: tegyük fel, hogy az egyik esetben 20 cm-re tartjuk a fésűt a doboztól, a másik esetben 10 cm-re. Hányszor több elektron tolódik el akkor, ha a fésű kétszer közelebb van?

Valószínű, hogy többségben vannak azok, akik azt mondják: ha a fésű kétszer közelebb van, akkor kétszer annyi elektron tolódik el. Ebből pedig az következne, hogy a fésű töltése kétszer kisebb távolságból kétszer nagyobb erővel hat.

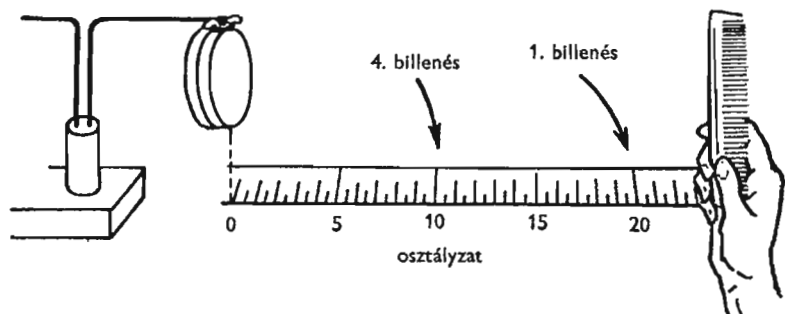
Mínt hogy egyszerű eszközünk mér, ezért könnyen megmérhetjük mindkét esetben az eltolt elektromos mennyiséget és így a hatóerőt is. Végezzük el a kísérletet.

Egy nehéz kísérlet — bámulatosan egyszerűen

Kísérlet. Fektesünk az asztalra egy centiméterskálát. A beosztást úgy toljuk a cipőkrémes doboz alá, hogy kezdővonala a doboz közepe alá essék (295. ábra).

A kisütőt csak néhány milliméternyire állítsuk a billegő lemeztől, hogy sok billenést kapjunk.

A megdörzsölt fésűt közelítsük lassan a távolból az elektroszkóp doboza felé, és figyeljük, hogy milyen messziről következik be az **első** billenés. Az egyik kísérletünkben például a skála 22 cm-es vonala felett állt a fésű, amikor az elektroszkóp először kisült.



295. Közelítsük a fésűt a dobozhoz, és figyeljük meg, hogy mekkora távolságban következik be a sztanollemez első és negyedik billenése

Mozgassuk lassan egyre közelebb a fésűt, és figyeljük, hogy a **negyedik** billenéskor milyen közel van a fésű a doboz oldalához. Kísérletünkben a negyedik billenés akkor következett be, amikor a beosztás 11 cm-es vonala felett volt.

Tehát 22 cm távolságban egy billenés, fele akkora távolságban pedig **négy** billenés történt. Ebből látható, hogy kétszer kisebb távolságban az elektromos taszítóerő négyszer nagyobb.

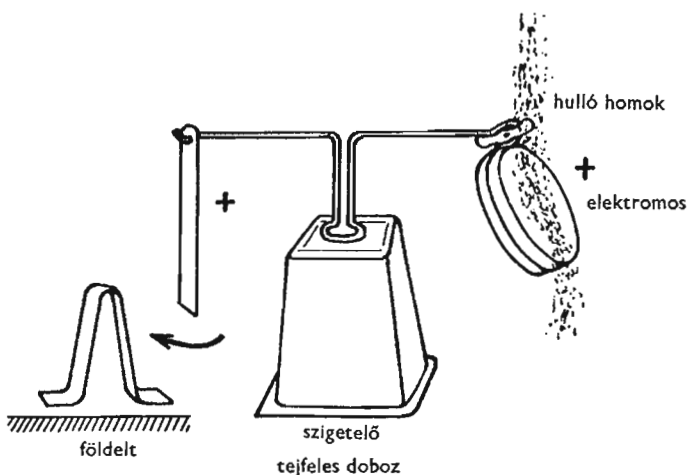
Egy másik kísérletben 18 cm távolságban következett be az **első** billenés, és amikor háromszor közelebb hoztuk a fésűt, azaz 6 cm távolságra, közben 9 billenést (kisülést) figyeltünk meg. Tehát 3-szor

kisebb távolságban $3 \times 3 = 3^2 = 9$ -szer nagyobb erővel hat a fésű elektromos töltése.

Fontos megjegyzés: kísérleteink csak akkor sikerülnek kitűnően, ha kísérleti eszközeink **szárazak** (melegítsük meg őket, ha szükséges). Ha a billegő lemez „ragad” a kisütőhöz, és az érintkezés után nem ugrik azonnal vissza, ez annak a jele, hogy a kisütő nincs jól földelve, például rosszul vezető, száraz asztallapon áll. Ha ilyenkor valaki kézzel fogja a kisütő talpát, már ez is elegendő.

Miért ad néha elektromos ütést az autóbusz és a trolibusz?

A gumi nem vezeti az elektromosságot. A gumikerekű járművek, mint az autóbusz, trolibusz, autó, néha menet közben elektromos töltést nyernek, és ha valaki felszálláskor elsőnek érinti a jármű fémrészét, elektromos áramütés éri.



296. A cipőkrémes dobozhoz porszemek sűrűlődnak, a doboz elektromos töltést nyer

Miért nyer elektromos töltést a jármű? Látványos kísérlettel felelünk.

Kísérlet. Billegő lemezes elektroszkópunk nyúlványára erősítsünk cipőkrémes dobozt (296. ábra). A doboz ne függőlegesen álljon, hanem a tartó drótot úgy görbítsük meg, hogy a doboz lapos, fényes, fémes oldala ferdén állva kissé felfelé nézzen, hogy ha száraz homokot öntünk rá, az a dobozhoz súrlódva lepereregjen róla.

Szerezzünk valahonnan homokot. Egy fémphárban (üres konzervdobozban) a tűzhelyen erősen melegítsük fel, hogy száraz legyen a homok (egyúttal fertőtleníthető is).

Öntsük finom sugárban a homokot a doboz lapjára. Miközben a homokszemek végigcsúsznak (súrlódnak) a dobozon, a doboz és az elektroszkóp sztaniolemeze elektromos töltést nyer, **a lemez a kisütőhöz ütődik, billegni kezd.**

Most már érthető a gumikerekű járművek, sőt repülőgépek elektromos töltése is. Haladás közben súrlódnak a (poros) levegőhöz, és elektromos töltést nyernek.

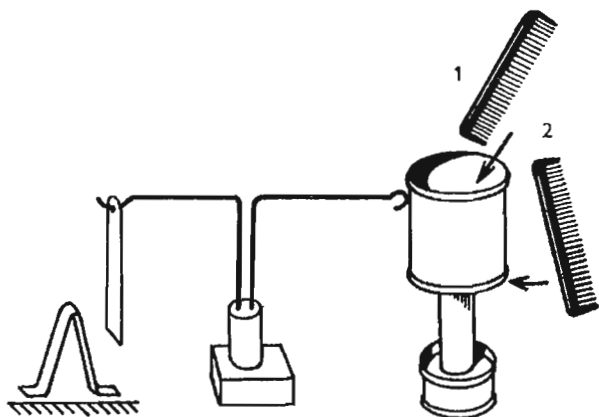
Ennek az elektromos töltésnek a felgyülemlesztését úgy lehet elkerülni, hogy a gumikerekű járművek fémvázához fémszalagot erősítenek, amely a földig ér le, földeli a kocsit, elvezeti az elektromos töltést.

Feladat. Keletkezik-e elektromos töltés, kibillen-e az elektroszkóp lemeze, ha por helyett mákot, darát, rizsszemecskéket használunk vagy vizet csepegtetünk (cseppentővel) a cipőkrémes dobozra? — Igen! Próbáljuk meg.

Mikor távozik el több elektron a konzervdobozból?

Már tapasztaltuk azt, hogy a gyertyalábon álló konzervdoboznak elektromos megosztással nagyobb elektromos töltést tudunk adni úgy, hogy beledugjuk a megdörzsölt fésűt, mintha csak a közelébe tartjuk. — De a billegő lemezes töltésmérőnkkel pontosan meg is tudjuk mérni, hogy mindegyik esetben mekkora (hány adag) a töltés.

Kísérlet. Vegyük le a cipőkrémes dobozt az eszköztől. A gyertya-



297. A billegő lemezes elektroszkóppal könnyen megmérhetjük azt, hogy mikor távozik több elektron a konzervdobozból. Akkor-e, ha a megdörzsölt fésűt (1) oldalról közelítjük, vagy ha (2) a dobozba dugjuk

lábán álló konzervdobozt toljuk a töltésmérő mellé úgy, hogy a doboz érintkezze a töltésmérő drótjával (297. ábra).

Közelítsük lassan a megdörzsölt fésűt a doboz oldalához, míg hozzá nem ér (297. ábrán 2). A közelítés alatt figyeljük a billenések számát (egy billenés után álljunk meg a fésűvel, és várjunk, míg a lemez megáll). Például 8 billenést figyeltünk meg, 8 adagnyi elektrontöltés távozott a dobozból.

Dörzsöljük meg újra a fésűt, és most is közeledjünk lassan a dobozhoz, de most felülről dugjuk a fésűt a dobozba (297. ábrán 1). — Tegyük fel, hogy közben 12 billenést figyeltünk meg.

Eszerint $12 : 8 = 1,5$, vagyis másfélszer több elektron távozik a dobozból, ha a dobozba beledugjuk a megdörzsölt fésűt.

Egy dörzsölés vagy több dörzsölés ad nagyobb töltést a fésűnek?

Kísérleteinkben igen sok alkalommal szükséges a dörzsöléssel elektromossá tenni a fésűt. — Az a kérdés, hogy **mikor lesz a fésű nagyobb mértékben elektromos: ha többször végigdörzsöljük a száraz papírral, vagy ha csak egyszer rántjuk ki a jól összeszorított papír közül?**

Erre a kérdésre is könnyen megfelelelhetünk egy kísérlettel.

1. Kísérlet. A billegő lemezes elektroszkópra tegyük fel a cipőkrémes dobozt. Mindkét esetben közelítsünk a megdörzsölt fésűvel a dobozig, és figyeljük a billenések (az eltávozó elektronadagok) számát. — De az is elegendő, ha a megdörzsölt fésűvel csak bizonyos távolságig (amit megjelölünk) közeledünk, és az ezalatt történő billenéseket számoljuk meg.

Például egy kísérletben a fésű egyetlen erőteljes rántásával történő dörzsölés 9 billenést adott, a huzamosabban dörzsölt fésű pedig csak 6 billenést (a kisütő 1 cm-re állt a billegő lemeztől). **Szinte hihetetlen tapasztalat.** Bárki ellenőrizheti!

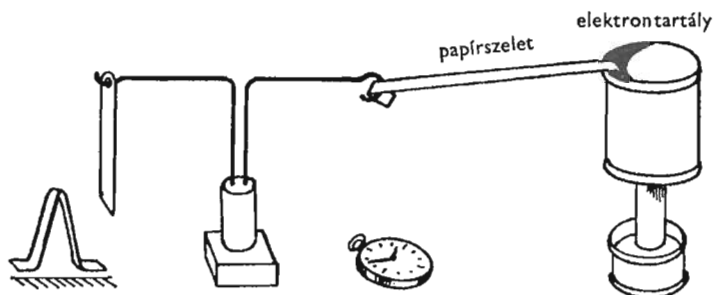
2. Kísérlet. Az előző kísérlet elvégzése után egyszeri rántással újra dörzsöljük meg a fésűt. Nagyobb mértékben lesz-e elektromos, mint az előbb volt? — Közelítsük újra a dörzsölt fésűt az elektroszkóp-hoz. Ugyanannyi billenést látunk, mint az előbb.

Tehát ha ugyanazt a dörzsölőszert használjuk, kb. ugyanakkora töltésmennyiséget állíthatunk elő több ízben egymás után a megdörzsölt fésűn.

Szórakoztató mérések az anyagok elektromos ellenállására

1. Kísérlet. A szigetelten álló konzervdobozt és a billegő lemezes töltésmérőt állítsuk 10-15 cm távolságra egymástól.

Vágjunk ki bármilyen papírból kb. 1 cm széles csíkot. A két végén 2-3 cm hosszú darabot a 298. ábra szerint hajtsunk be, hogy az így



298. A billegő lemezes elektroszkóppal megmérhetjük azt, hogy a különféle anyagok elektromos ellenállása hogyan függ hosszúságuktól, vastagságuktól és anyagi minőségüktől

keletkezett papírkampókkal a töltésmérőre és a konzervdobozra támaszkodhassék a papírcsík. — Ezután vágjunk ki ugyanilyen hosszú, de kétszer szélesebb papírcsíkot is. Ennek végeit is hajtsuk be.

Töltsük meg a konzervdobozt a megdörzsölt fésű segítségével (megosztással). — Akasszuk az 1 cm széles papírcsík egyik végét a töltésmérő dróthurokjára, miközben a papír másik végét fogjuk, majd 3-4 cm magasból a konzervdobozra ejtjük (vigyázzunk, hogy közben hozzá ne érjünk a dobozhoz). Ebben a pillanatban a doboz elektromos töltése áramlani kezd a papírszeleten át a billegő lemez felé, és a lemez billegéssel jelzi, amint egy-egy adag elektromos töltés a földre távozik a dobozból.

Egy zsebóra másodpercmutatóján figyeljük meg, hogy adott másodperc alatt hányat billen a lemez. — **Például** 6 billenés 15 s alatt következik be.

Töltsük meg újra a konzervdobozt, azután a kétszer szélesebb papírcsíkkal kössük össze a konzervdobozt a billegő lemezes töltésmérővel.

Figyeljük meg, hogy most, ugyanannyi idő alatt, mint előbb, — mennyi lesz a billenések száma. — **Például** azt találjuk, hogy 15 s alatt 12 billenés történik.

Az 1 cm széles papírszalagon át 15 s alatt 6 töltésadag távozott — a 2 cm széles szalagon pedig 12 adag.

Tehát a 2-szer szélesebb, a kétszer nagyobb keresztmetszetű vezető 2-szer jobban vezeti az elektromos áramot, ellenállása 2-szer kisebb.

2. Kísérlet. Iktassunk a konzervdoboz és a töltésmérő közé kétszer hosszabb, 1 cm széles szalagot — mint az előbb. Azt találjuk, hogy a billegés szaporasága csak fele lesz, mint előbb. **Például**, ha az előbb 15 s alatt 6 billenés történt, most csak 3.

A kétszer hosszabb vezető kétszer jobban akadályozza az elektromosság áramlását. — **A kétszer, háromszor hosszabb vezető ellenállása kétszer, háromszor nagyobb (ha a vezető keresztmetszete nem változik).**

Megjegyzések: ugyanígy kísérletezhetünk 1, 2, 3, ... cérnaszállal vagy hurkapálcikákkal. — A szélesebb papírszalagot összehajthatjuk többrétűre, hogy könnyebb legyen a doboz és a töltésmérő közé iktatni.

**Milyen gyors a doboz,
a fészű töltésvezetése?**

Az elektromossággal töltött, szigetelt konzervdobozt közelítsük töltésmérőnk cipőkrémes dobozához, és figyeljük a billenések számát. A kisülési közt szűkre (2-3 mm) állítsuk be, hogy már távorról is jelentkezzenek a billegések. A következő kísérletekben a konzervdobozt **ne** toljuk egészen a töltésmérőig, hanem csak 6-8 cm távolságig. Itt tegyünk egy jelet az asztalra.

1. Kísérlet: az elektromossággal töltött doboz töltésvesztése. Számoljuk meg, hogy hány billenést okozott a jelig tolt doboz (például 6 billenést). Ezt jegyezzük fel — vigyük távol a dobozt, de a töltést **ne** változtassuk.

1 min múlva ismételjük meg a kísérletet. Ismét a jelig toljuk lassan a dobozt. Most a billenések száma kevesebb lesz (például 5 billenés), mert közben töltést veszített a doboz. A dobozt újra távolítsuk el, és **ne** változtassuk töltését.

2 min múlva, 3 min múlva, 4 min múlva ismételjük az eljárást, és jegyezzük fel a billenések számát (például 4, 4, 3 stb.).

A kapott eredményeket grafikusan is feltüntethetjük.

Abban a kísérletsorozatban, amelynek adatait az előbb zárójelbe tettük, 10 min múlva 1 billenést okozott a még megmaradt töltés.

2. Kísérlet: a megdörzsölt fésű töltésvesztése. Az előző módon határozhatjuk meg a megdörzsölt fésű töltésvesztését is, a dörzsölés után következő percek folyamán.

Íme egy kísérletsor adatai, miközben fésűvel minden alkalommal 6 cm-re közelíttem meg a cipőkrémes dobozt:

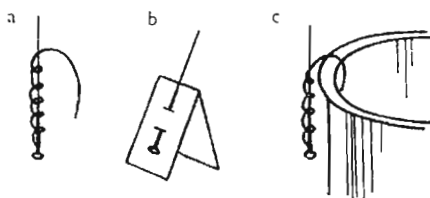
Idő (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Billenés	10	7	4	4	4	4	3	3	3	3	1

Megjegyzés: a megdörzsölt fésűt kísérlet közben ne tegyük le az asztalra, mert töltést veszít az érintkezés miatt, hanem dugjuk be a dörzsöletlen végét egy könyv lapjai közé. A könyv az asztal szélén legyen, és a fésű kifelé álljon az asztal szélétől, mert ha más tárgyak közelében van, a csúcshatás következtében még gyorsabban veszíti töltését.

A csúcs hatása számbelileg

Ezekben a kísérletekben olyan csúcsra lesz szükségünk, amelyet a kísérletek közben könnyen eltávolíthatunk a szigetelt lábón álló konzervdobozról anélkül, hogy a dobozhoz érnének. A doboz állhat bél nélküli gyertyalábon, vagy szigetelő, felfordított műanyag pohárkára ragaszthatjuk.

A tűcsúcs. Egy gombostűre tekerjünk vékony drótot (299. ábra).



299. A gombostűre vagy drótkam-pót tekerünk (a), vagy összehajlított sztanolpapírba fűtük (b), és így akasztjuk (c) a konzervdoboz peremére

A drót végét hajlítsuk kampó alakúra. Így könnyen ráakaszthatjuk a konzervdoboz peremére.

Érdekes kísérletekkel állapíthatjuk meg ennek a csúcson a hatását számbelileg.

1. Kísérlet: csúcs nélkül. A szigetelt alaplapon álló konzervdobozba dugjunk megdörzsölt fésűt. Érintsük meg a dobozt, utána húzzuk ki a fésűt. Így a doboz megosztás útján elektromos töltést nyert. — Ezután a dobozt bizonyos határig közelítsük a billenőlemez elektroszkópunk nyúlványán levő cipőkrémes dobozhoz, és számoljuk a billenéseket.

Egyik kísérletben 10 billenés történt (0,5 cm volt a köz a billenő lemez és a kisütő között).

2. Kísérlet: csúccsal. Most gombostűt helyezünk a konzervdoboz peremére. — Megint megtöltjük a dobozt fésűvel úgy, mint az előbb (amikor a feltöltés közben ujjunkkal a dobozhoz érünk, hogy elvezessük a fésű által megosztott elektromosságot, észrevesszük, hogy sokkal gyengébb szikra ugrik, mint az előző kísérletben).

Rázzuk le a tűt a megtöltött dobozról (hogyan kísérlet közben ne távozzék állandóan az elektromos töltés a csúcson át) — és közelítsük lassan a dobozt a töltésmérőhöz. Ha kevesebb töltés van benne, akkor kevesebb lesz a billenések száma is, mialatt ugyanannyira közeledünk a töltésmérőhöz, mint az előbbi kísérletben.

Egy kísérletben csak 5 billenés következett be (tű nélkül 10-et kaptunk).

Tehát a tűvel ellátott doboznak csak fele annyi elektromos töltést tudtunk adni, mint a tű nélkülinek, a többi elektromosság már töltés közben eltávozott a csúcson át.

3. Kísérlet: mennyi elektromos töltés távozik a csúcson át 1 min alatt? Töltsük meg a tűvel ellátott dobozt, és mérjük meg töltését. Legyen például akkora a töltése, hogy közelítéskor 5 billenést okoz. A csúcs maradjon a konzervdobozon, és 1 min múlva ismét közelítsük a dobozt. Egyetlen billenés sem következik be; kisugárzott a töltés.

A tapasztalt jelenségeknek igen fontos következményei vannak:

a) ha a testnek csúcsa, éle van, akkor bizonyos feszültségnél nem

lehet nagyobb feszültségre tölteni, mert a töltés azonnal kisugárzik.

b) Az ilyen test a megmaradt töltését is sokkal gyorsabban veszti el, mint abban az esetben, ha csak gömbölyített élei lennének.

Távvezetékinken százezer — több százezer volt feszültségű elektromos áram folyik — a kisugárzási veszteségek miatt minél nagyobb a feszültség, annál vastagabb vezetékkel kell alkalmazni. — A nagyfeszültségű gépek vezetőrészei is vastagok, gömbölyűek, és nagy átmérőjű gömbökben végződnek.

Gondolkozzunk: 1. A 278. ábrán olyan konzervdobozt látunk, amelynek oldalán sztaniollemez van. — Melyik konzervdoboznak lehet nagyobb elektromos töltést adni: a sztaniollemezesnek vagy a lemez nélkülinek?

2. A 288. ábrán látható a kétlemezes elektroszkóp. — Szeretnénk, ha lemezei nagyon szétágaznának — van-e ennek a szétágazásnak határa? Ha ennél még nagyobb töltést (feszültséget) adunk az elektroszkópnak — jobban szétágaznak-e a lemezek?

Felelet: 1. A sztaniollemez vastagsága kb. 0,01 mm. Ezen a vékony élen át ugyanúgy kiáramlik az elektromosság, mint a csúcson át. Tehát a doboznak kisebb töltést adhatunk, ezt is gyorsabban elveszti, mint a lemez nélküli. Ezt kísérletekkel ellenőrizhetjük.

2. A kétlemezes elektroszkóp lemezei szétágazásának van bizonyos határa. Ha az elektroszkópnak még nagyobb töltést próbálunk adni, ez azonnal kisül a lemezek élein át.

Ez már majdnem varázslat

Eltüntetjük a konzervdoboz vagy a fésű töltését anélkül, hogy hozzájuk érünk.

Kísérlet. Töltsük meg a szigetelő alapzaton álló konzervdobozt elektromossággal. Azután fogjunk kezünkbe egy tűt. Hegyét tartsuk 0,5-1 cm-nyire a doboztól 1-2 s-ig. Ezután vizsgáljuk meg a töltésmérővel, hogy mennyi töltés marad a dobozban. Azt tapasztaljuk, hogy míg a doboz töltése a tű odatartása előtt 8-10 billenést okozott — a tű odatartása után legfeljebb egyet vagy egyet sem.

Egy megdörzsölt fésű töltését is meg lehet szüntetni úgy, hogy a kezünkben tartott tű hegyével kétszer végigkörözzünk a fésű megdörzsölt része felett (a fésűtől kb. 0,5 cm távolságban), 2-3 s alatt.

Gondolkozzunk: dörzsöléskor a fésű mindkét oldala elektromos lesz, és a fésű anyaga szigetelő. — Miért veszíti el mégis a fésű **mindkét** oldala az elektromos töltést, ha csak az **egyik** oldala fölött körözzünk a csúccsal?

Felelet: a csúcs környékén a levegőben keletkező pozitív ionok könnyen mozognak a levegőben, könnyen átrepülnek a másik oldalra is, rátelepednek a negatív töltésű fésűre, és ott is semlegesítik a töltést.

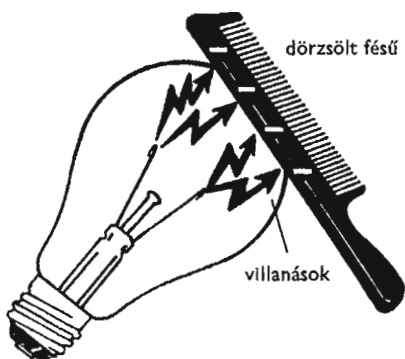
Ionokkal és elektronokkal fényjelenségeket keltünk

Villámok a villanykörteben

A sokágú, több kilométer hosszú villámoknak kicsinyített mását állíthatjuk elő, nagyon egyszerűen és biztos sikerrel. Csupán egy, legalább 40 W-os vagy ennél erősebb villanykörte szükséges hozzá. Ezek a lámpák gázzal vannak töltve. Kísérletünkhöz pedig csak gáztöltésű lámpa alkalmas. Mindegy, hogy a villanykörte ép-e vagy kiégett, sőt ez utóbbi még jobb, mert ha kísérlet közben véletlenül összetörjük, nem kár érte. Csak átlátszó burájú alkalmas, hogy beláthassunk a belsejébe.

A kísérleteket csak este, a sötétben végezzük. Az utcai fény beszűrődhet a szobába. De ha azt akarjuk, hogy a tünemény szép legyen és részleteiben jól megfigyelhessük, akkor vonuljunk a szoba sötétebb sarkába, és a villanykörte mögött a háttér sötét legyen.

1. Kísérlet. Tartsuk a körtét foglalatánál fogva. Egy, a hajunkkal (vagy száraz papírral) megdörzsölt fésűvel koppantsunk hirtelen az üvegburára. A körte belsejében 4-5 erős fényű, cikázó felvillanást látunk az izzószál tartására szolgáló drótok és a bura teteje között (300. ábra).



300. A száraz papírral dörzsölt fésűt érintsük hirtelen, 1-2 s-os időközökben az izzólámpa burájához. A sötétben mindannyiszor fényes felvillanást látunk

2. Kísérlet. A villanás után vegyük el a fésűt, és 1-2 s múlva ismét hirtelen érintsük a bura tetejéhez — újra villámlás keletkezik. Így kelthetünk az egyszer megdörzsölt fésűvel egymás után akár százszor is villámlást.

De ha a megdörzsölt fésűt gyors egymásutánban ütögetjük az üvegbura tetejéhez (és nem várunk legalább 1 s-ot), akkor nem keletkeznek felvillanások.

a) Miért keletkezik villanás a burában az egymás után következő érintésekkor?

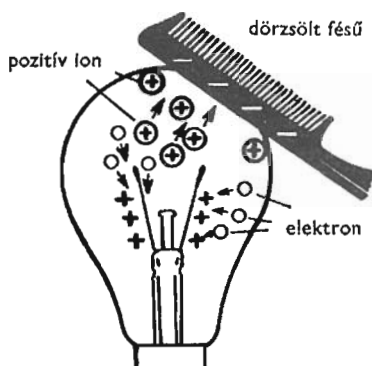
b) Miért **nem** keletkeznek villanások a **gyorsan** egymás után következő érintésekkor?

Megmagyarázzuk a jelenséget: a villanykörteben gázmolekulák vannak. A gázokban a természetes állapotú atomokon, molekulákon kívül vannak olyanok, amelyekről levált egy vagy több elektron. A levált elektronok negatív töltésűek, a hátramaradt molekularészek (ionok) pedig pozitív töltésűek. Tehát a burában negatív és pozitív töltésű részecskék is vannak (301. ábra).

Mi történik a gázionokkal, ha a negatív töltésű fésűt közelítjük az üvegburához?

A pozitív ionok a fésű felé, a bura teteje felé vándorolnak, a negatív töltésű ionok az ellenkező irányba.

De a fésű az izzószálat tartó dróton is megosztást idéz elő. A drót szabad elektronjainak egy részét a dróton és testünkön át a földbe



301. A burában levő gáz pozitív ionjait vonzza a fésű, a gázban levő szabad elektronokat pedig taszítja. A részecskék egyre sebesebb mozgásba jönnek

taszítja, ezért a drót pozitív töltésű lesz. A gáz negatív részecskéi (az elektronok) tehát a drót felé vándorolnak, rászállnak és a földre távoznak.

Ez azonban nem történik olyan „nyugodtan”, mint elmondottuk és mint gondolnánk. Ugyanis a megdörzsölt fésűn levő elektromosság feszültsége legalább 6000 V. Az izzószálat tartó drót feszültsége 0 V, mert testünkön át a földdel van összekötve. Tehát a drót és a fésű közötti 3 cm vastag térrészben 6000 V a feszültségkülönbség. És minél nagyobb a feszültségkülönbség, annál nagyobb erő mozgatja az ionokat a térben.

Kiszámítható, hogy az elektron 46 000 km/s sebességre tenne szert, miközben a bura tetejétől a tartódrótig repülne. A nitrogénion pedig kb. 400 km/s sebességet nyerne.

A fésű elektromos erőterében gyorsuló ionok tehát aránylag roppant nagy energiára tesznek szert. Mozgásuk közben nekiütköznek más, még ionokra nem bomlott atomoknak, molekuláknak. Letépnek róluk egy vagy több elektront, ionizálják az atomokat, molekulákat. Az így keletkezett elektronok és ionok szintén gyorsuló mozgásba jönnek a fésű elektromos erőterében. Elképzelhetetlenül rövid idő alatt megszerzik azt az energiát, ami elegendő a további atomok ionizálására. Lavinaszerűen növekedik a fésű elektromos erőterében mozgásba jött ionok száma.

Így keletkezik a fényjelenség: miközben az elektronok és ionok a megfelelő sebességgel más atomoknak ütköznek, kilövik a másik atom egy elektronját pályájáról, de a kilökött elektron újra visszaugrik, és közben fényt bocsát ki. A bura belsejében sebes mozgásba jött részecskék az ütközés révén így gerjesztik fénykibocsátásra a természetes állapotban maradt atomok sokaságát.

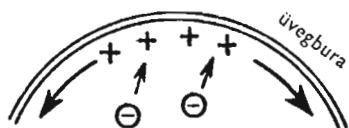
A felvillanás, a fénytünemény természetesen elsősorban a fésű és a tartódrótok közötti térrészben történik, hiszen ebben a térben a legerősebb az ionokat mozgásba hozó elektromos erőtér.

De miért tart csak egy pillanatot a felvillanás?

A 302. ábrán látjuk, hogy a pozitív ionok ráakadnak a bura falának a fésűvel szemközti levő felső oldalára. A pozitív töltés hatása semlegesíti a fésű negatív töltésének hatását. Megszűnik a bura belsejében az elektromos erőtér, nincsen ok, ami meggyorsítsa az ionokat, nincs további felvillanás.



302. Ha a fésűt eltávolítjuk, lassanként megszűnik a bura belső felületén levő pozitív töltés, a gázban levő negatív ionok ráakadása miatt



Vegyük el a fésűt. Az üveg belső felületén megszűnik a pozitív töltés, mert a körte belsejéből negatív elektronokat vonz magához. — Ha a fésűt hirtelen újra közelítjük, akkor a fésű vonzására újra az üveg felé áramlanak (gyorsuló mozgás közben) a pozitív gázionok, és ütközések közben újra fény jelentkezik.

És mi történik akkor, ha igen gyorsan ütögetjük megdörzsölt fésűnket a bura tetejéhez? — Ilyenkor a bura belső felületén levő pozitív töltésnek nincsen elegendő ideje ahhoz, hogy eltávozzék. Nagy része ott marad. Amikor újra közelítjük a negatív fésűt, ez az ott maradt pozitív töltés semlegesíti a fésű hatását, nem gyorsulnak fel eléggé a bura belsejében levő ionok, nem keletkezik fény.

1. Kísérlet: nem keletkeznek felvillanások. A száraz papírral vagy hajunkkal megdörzsölt fésűt most nagyon lassan közelítsük a burához. Teljék el 6-8 s az alatt, amíg a fésű a bura tetejéhez ér.

Nem keletkezik villámlás. — De ha megint hirtelen közelítjük, újra villanásokat látunk.

Mi lehet ennek az oka?

Ha két követ vagy acéldarabot lassan nyomunk egymáshoz, azok sem szikráznak. Csak akkor keletkezik szikra, ha gyorsan, a kellő energiával ütjük egymáshoz őket. — Ez a jelenség vezet nyomra bennünket kísérletünk magyarázatában is.

Ahhoz, hogy a bura belsejében fény keletkezzék, az szükséges, hogy az ionok vagy elektronok és az atomok ütközése a kellő nagyságú energiával történjék. A gázionoknak a megfelelő nagyságú sebességre kell felgyorsulniuk.

Minél távolabb van a fésű a burától, annál kisebb erő gyorsítja az ionokat. A bura belsejében levő ionok gyorsuló mozgásba jönnek ugyan, de csak lassan gyorsulnak fel, és mielőtt még a kellő sebességre tehettek volna szert, beleütköznek egy gázmolekulába.

Közelítsük lassan tovább a fésűt. A gázionok újra gyorsulni kezdenek, de megint csak kevés energiával, felvillanás nélkül.

De ha a fésűt gyorsan, pillanatok alatt közelítjük és érintjük a burához, akkor a közelben levő fésű nagy vonzóereje gyorsítja az ionokat, és azon a rövid úton, ami a következő ütközésig rendelkezésünkre áll, fel tudnak gyorsulni olyan nagy sebességre, magukba tudnak halmozni akkora energiát, ami elegendő a fénykeltéshez, a felvillanáshoz.

Tudományos nyelven úgy fejezzük ki ezt a tapasztalatunkat: az ütő atom, a „gerjesztő” atom vagy a „gerjesztő” elektron elegendő nagy energiára tett szert a megütött atom „gerjesztéséhez”. A gázionok az elektromos erőterben történő felgyorsulásuk közben szerzik meg a gerjesztéshez (a fénykeltéshez) szükséges energiát.

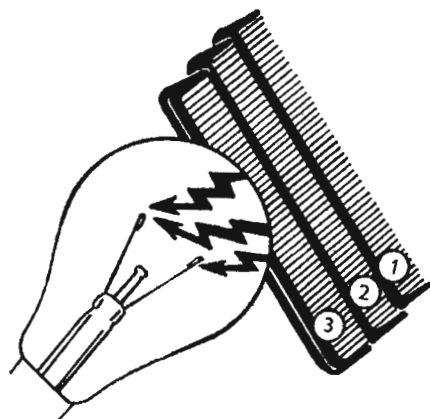
A jól ismert **fénycsövekben** ugyancsak gázionok ütközése kelti a

fényt. A gázionok a fénycső két vége közötti elektromos erőterben gyorsulnak fel.

2. Kísérlet: egymásra következő adagokban adjuk meg a gázionoknak a fénykeltéshez szükséges energiát.

Eddigi kísérleteinkben akkor keletkezett erős felvillanás, ha a megdörzsölt fésűt hirtelen, gyorsan közelítettük az izzólámpa burájához, és rendszerint hozzá is érintettük (ez nem szükséges). De bizonyára észrevettük kísérleteink közben, hogy még hozzá sem ért a fésű a burához, és máris villanás keletkezett a gázban, sőt — miközben közeledett a fésű, gyors egymásutánban villantak fel a villámok a burában. Vizsgáljuk most ezt a jelenséget.

A megdörzsölt fésűt közelítsük megint gyorsan a lámpa burájához — de szakaszosan (303. ábra).



303. Közelítsük a megdörzsölt fésűt ugrásszerűen, szakaszosan egyre közelebb a burához. Egymás után következnek be a felvillanások a fésű 1., 2., 3. helyzetében. Mindegyik helyzetben kb. 1 s-ig maradjon a fésű, és azután rántsuk közelebb a burához

Az első villanás már akkor bekövetkezik, amikor a fésű még aránylag messze, 6-8 cm-re van a burától.

Ekkor hirtelen rántsuk a fésűt 1-2 cm-rel közelebb a burához. — Új felvillanást látunk. Újra rántsuk kissé közelebb. Minden közelítést új felvillanás követ. Ily módon 4-5 külön, egymás után következő felvillanást figyelhetünk meg.

Ennek a **jelenségnek a magyarázatát** magunk is könnyen megtalálhatjuk: miközben 4-5-ször egymás után egyre közelebb rántottuk a fésűt a burához, mindegyik helyzetben az elektromos erőter új, hirtelen megerősödése következett be a bura belsejében. Mindegyik erősödés új gyorsuló mozgásba hozta az ionokat, új energiát közölt velük, akkora energiát, amekkora elegendő volt az összeütközéssel történő fénykeltéshez. Ezért következik be minden új helyzetben új villanás.

Tehát ezzel a kísérletünkkel, egy fésű és egy kiegészített villanykörte segítségével valóban sikerült igazolnunk azt, hogy **az atomok fénykibocsátására való gerjesztéséhez meghatározott nagyságú elektromos erőterben történő felgyorsulásra, meghatározott nagyságú energiaadagra van szükség.**

Elmó tüze a villanykörteben

Egy érdekes jelenséget állítunk elő kicsiben. Ugyanez a jelenség néha hatalmas méretekben jelentkezik a természetben. Bizonyára mindenki hallott már róla, de igen kevesen látták.

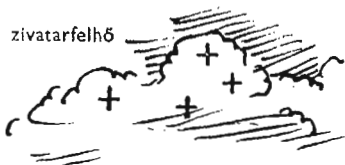
Zivataros időben, amikor elektromossággal nagy feszültségre töltött felhők úsznak felettünk, a villámhárítók, a vízlevezető csatornák sarkain, a tornyok hegyén, a fák csúcsán — fénylő pamatok jelennek meg. — Ez az Elmó tüze (304. ábra).

Kísérlet. A megdörzsölt fésűt a lámpaburához ütjük (közben gázkiszülés, villámlás a burában) — majd eltávolítjuk a fésűt. **Az eltávolítás alatt az izzószálat tartó két drót hegyéből néhány milliméter hosszú fénypamat sugárzik elő (305. ábra).**

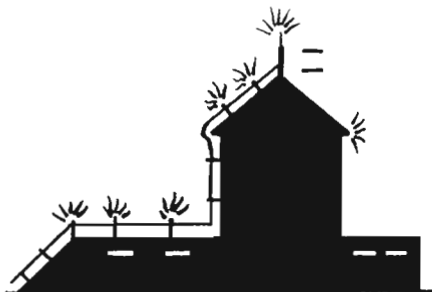
Aki az előző kísérleteket elvégezte, sok alkalommal megfigyelhette a jelenséget.

Magyarázat: tudjuk, hogy miközben a fésűt a burához érintjük, pozitív elektromos töltés gyűlik össze az üvegbura belső felületén, mint ahogy elektromossággal töltött zivatarfelhő gyűlik össze a tartódrót fém csúcsai felett. Csakhogy, amíg ott tartjuk a fésűt, nem érvényesülhet a felgyülemlett pozitív elektromosságnak a hatása, mert

zivatarfelhő

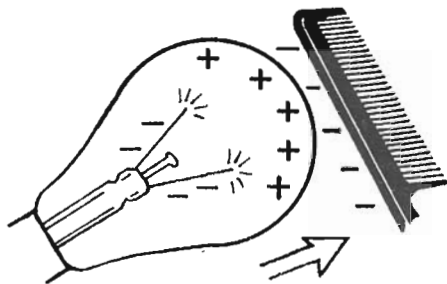


304. Zivataros időben a villámhárítók, a tornyok csúcsán világító fénypamat jelenik meg. Ezt elektromos kisülés okozza. A felhő elektromosságával ellenkező nemű elektromosság sül ki a csúcson át



a fészű elektromossága semlegesíti. — De ha elveszük a fészűt, felszabadul az üveg oldalán összegyűlt elektromosság. Hat a csúcsokra, megtörténik a kisülés, megjelenik a fénypamat.

Tudjuk, hogy a csúcsokon igen nagy az elektromosság sűrűsége, tisztítja a csúcs közelében levő gázionokat, és hogy az ionok sebessége (ezzel együtt járó energiája) elegendő ahhoz, hogy ütközés folytán fénylésre gerjessze a csúcs közelében levő gázatomokat.



305. A fészű eltávolítása közben fénypamatok jelennek meg a villanylámpa izzószálát tartó drótok végén. Ez ugyanaz az elektromos kisülés (Elmó tüze), mint amit nagy méretekben lehet megfigyelni a természetben

A fénypamat kísérletünkben néhány másodpercig is tarthat, attól függ, hogy milyen lassan távolítjuk a fésűt. Ezért ezt a jelenséget az elektromosság lassú, csendes kisülésének nevezik, és megkülönböztetjük tőle az elektromosság hirtelen kisülését, amit az előző kísérleteink felvillanásaiban, a villámban és az elektromos szikrában figyelhetünk meg.

A százezer, sőt több százezer volt feszültségű távvezetéken is felléphet hasonló lassú kisülési jelenség, ami energiaveszteséget okoz.

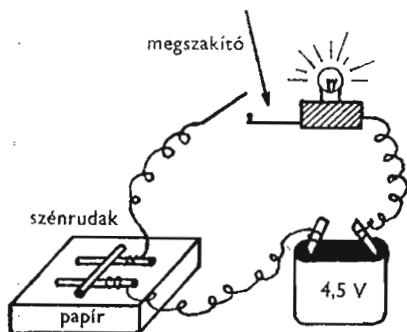
VIII. KÍSÉRLETEK AZ ELEKTROMOS ÁRAMMAL

Kísérletek a mikrofonnal

Mikrofon percek alatt

Kísérleteinkhez a 306. ábrán látható, saját készítésű egyszerű mikrofont használjuk. Elhasznált lapos zseblámpatelepet szétszedünk, így jutunk a szükséges három szénpálcikához. A szénpálcikákon maradjon rajta a fémkupak és az ehhez forrasztott kis drótdarab is, mert ehhez könnyen hozzáerősíthetjük a vezetékvéget. Egy papírdoboz

fedelére két szénpálcikát erősítünk, cérnával vagy vékony dróttal, vagy ragasztószalaggal. A két szénpálcikán keresztbe fektetjük a harmadik szénpálcikát. Ennek számára kis mélyedéseket reszelhetünk a leerősített szénpálcikákon, így biztosan fekszik.!



306. A szárazelemből kivett 3 szénpálcikával készült mikrofon

Hanggal pislogtatjuk a zseblámpaizzót

A dobozfedélre erősített szénpálcikákhoz kössük egy zseblámpa-elem sarkait a zseblámpaizzón keresztül. Ha ujjunkkal megnyomjuk a keresztbe fektetett szénpálcikát, a lámpa erősen izzik. Ha pedig csak hengerítjük, közben az izzó fénye erősen változik, ugyanis a szén-

pálcikák érintkezése hol erősebb, hol gyengébb, így hol kisebb, hol nagyobb lesz az elektromos ellenállás az érintkezési helyen. Ha kisebb az ellenállás, akkor erősebb áram folyik át az izzón, ha nagyobb az ellenállás, akkor kisebb az áramerősség, gyengébben világít a lámpa.

1. Kísérlet. Kopogtassuk meg ujjunkkal a dobozfedelet, ekkor is pislog a lámpa fénye. Ugyanis a rázkódás miatt hol jobban, hol rosszabbul érintkeznek egymással a szénrudak.

2. Kísérlet. Hanggal is rezgésbe hozhatjuk a dobozfedelet, változtathatjuk az ellenállást. A keresztbe fektetett szén helyzetét változtassuk mindaddig, amíg a zseblámpaizzó fényesen nem ég. Ekkor szánkat a mikrofonhoz közel tartva hangoztassuk az „á”, „ó” hangokat.

Az izzó fénye szaporán villog.

A fény villogása azt mutatja, hogy változik a lámpán átfolyó áram erőssége, a hangrezgések rezgésbe hozták a doboz lapját, ez megrezegtette a szénrudakat. A szénrudak hol jobban, hol rosszabbul érintkeznek.

Ezt az egyszerű készüléket szénmikrofonnak nevezzük (1878, Hughes).

Tanulságos tapasztalat

Ha mikrofonunkra az „s”, „sz” mássalhangzókat, vagy az „i”, „u”, „ö” hangokat mondjuk, meglepődve tapasztaljuk, hogy izzólámpánk egyáltalában nem pislog, vagy csak nagyon kevésbé változik fényének erőssége. Tehát az említett hangok csak kicsiny áramerősség-változásokat okoznak a mikrofonban, ezért hallhatóságuk csekélyebb.

Kísérletünkben izzólámpával mutattuk ki az áramerősség-változásokat. Mivel a zseblámpaizzó izzószálának gyorsan kell követnie az áramerősség változásait, annál alkalmasabb az izzólámpa, minél vékonyabb a szála, mert így gyorsabban hűl le, illetve izzik fel, mint a vastagabb szálú. A zseblámpaizzó tehát lehetőleg ne tekercselj szálú legyen (nagyítóval láthatjuk meg), hanem egyenes szálú, mert ennek kisebb a hőkapacitása.

Izzónk lehet 4 V-os vagy 3,5 V-os.

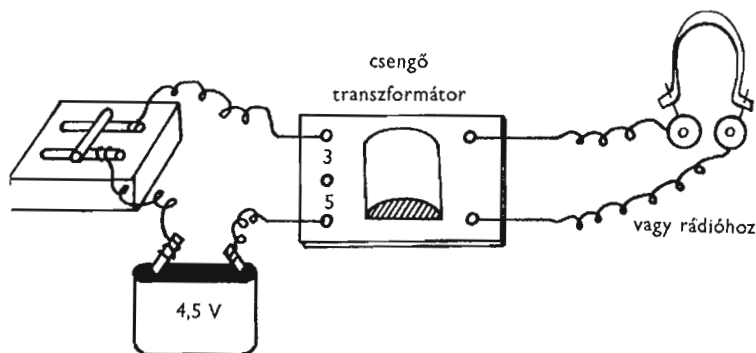
A fényerősség-változások különösen erősek (a kialvástól az erős izzásig terjednek), ha 2,5 V-os, 0,2 A-es zseblámpaizzót használunk. Ehhez vagy 2,5 V-os akkumulátor, vagy erősen használt elem szükséges, különben kiég.

Telefonálunk egyszerű mikrofonunkkal

Nehezen hihető, de szénpálcás mikrofonunk segítségével akár 100 km távolságra is beszélgethetünk. Könnyen meggyőződhetünk róla, hogy ennyire egyszerű eszközzel milyen jó eredményt lehet elérni. Tanulságosabb kísérletező játékot alig folytathatnánk.

Kísérlet. A 307. ábra szerint kapcsoljuk össze a mikrofont, a zseblámpaelemet, a csengőtranszformátort és a fejhallgatót. Csengőtranszformátorra azért van szükség, hogy a mikrofon áramkörének feszültségváltozásait nagyobb feszültségre transzformálhassuk fel. Ekkor rádiófejhallgatót lehet használni (ez szerzhető be legolcsóbban).

Amint az ábra mutatja: a mikrofon áramkörét kössük a transzformátor alacsonyfeszültségű (0—5 V) kapcsaihoz, a fejhallgatót pedig a transzformátor 220 V jelű kapcsaihoz. A fejhallgatót elhelyezhetjük a másik szobában is, még távolabb. A transzformátortól a fejhallgatóig menő vezeték bármilyen vékony drótból lehet.



307. Telefonálás, rádiózás egyszerű szénmikrofonunkkal

Fontos, hogy az elemet ne tartsuk állandóan bekapcsolva a mikrofon áramkörébe, mert a mikrofonunk áramkörének ellenállása kicsiny, sok áramot fogyaszt, és elemünk gyorsan kimerül.

Ezért iktassunk egy kapcsolót a mikrofon áramkörébe. Ez a kapcsoló (lásd a 316. ábrát) lehet egy falapocskára szegelt két fémlemez darabka (zseblámpaelemlről, ládazáró pántról).

Házi rádióstúdió

Fejhallgatóhoz nehezen jutunk hozzá. Rádiókészülék ellenben minden lakásban van. Hatásosabb is, ha a mikrofonunkra beszélt hang vagy énekszó a rádióban csendül fel, és a hangot tetszés szerint erősíthetjük is.

Kísérlet. A csengőtranszformátorból jövő két drót végét szorítsuk a rádiókészülék „pickup” vagy „gramfon” jelzésű lyukaiba. Kapcsoljuk be a rádiót. Beszéljünk a mikrofonra. A rádióban megszólal a hangunk. A rádió hangerő-szabályozójával változtathatjuk a hang erősségét.

Ha mikrofonunkat a másik szobában helyezjük el, innét mint stúdióból egész műsort közvetíthetünk.

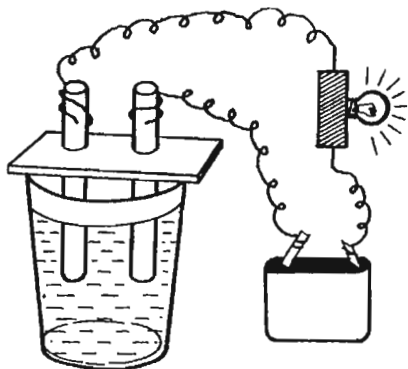
Megjegyzés. 1. Ha mikrofonunk dobozára karórát vagy zseborát teszünk, a rádióban meglepő erősen halljuk a ketyegést, különösen akkor, ha az óra az egyik szénrúdhoz ér.

2. A három szénrudacskából álló szénmikrofonunkat egy kartondarabkára is ráerősíthetjük (doboztető helyett). Ha ezt a lapot különféle dobozok tetejére tesszük, könnyen kipróbálhatjuk, hogy mikor legjobb a hangközvetítés. — Ha pedig jól rezonáló dobozra tesszük (l. 159. oldal), akkor hangunkkal kitűnően villogtathatjuk a zseblámpaizzót. Hallassunk különböző magasságú hangokat. Amelyik hangra legerősebb a villogás, arra a hangra rezonál a doboz.

Áramvezetés

Vezeti-e a tiszta víz az elektromos áramot?

Kísérlet. Egy elhasznált, lapos zseblámpatelepet szedjük szét. A benne levő szénrudak közül kettőt dugjunk át kartonlapocskába vagy falemezbe vágott két lyukon úgy, hogy jól szoruljanak, ki ne essenek a lyukakból. Ne legyenek egymástól távolabb, mint 1 cm (308. ábra).



308. A tiszta vízen nem halad át az elektromos áram. A megsózott víz vezetővé lesz — ég a lámpa

Üvegphárba öntsünk tiszta vizet. Tegyük a szénrudakat a vízbe. Azután kössük sorba vezetődrróttal a zseblámpaelemet, a szénrudakat és a zseblámpaizzót.

Figyeljük meg, hogy világít-e az izzó? Nem világít. Tehát a tiszta víz nem vezeti az elektromos áramot.

A sós víz és az elektromos áram

1. **Kísérlet.** Csípjunk fel ujjunkkal egy kevéske konyhasót, és hintjük a vízbe. Keverjük a vizet, hogy a só elolvadjon. Ha most sem világít az izzó, akkor még egy kevés sót szórjunk a vízbe. — Egyszer csak a lámpa igen halványan világítani kezd. — A sózott vízen tehát gyenge elektromos áram halad át.

Sózzuk tovább a vizet. Keverés közben, mialatt oldódik a só, egyre fényesebben világít a lámpa, egyre erősebb áram halad át a folyadékon.

Mit bizonyít ez a kísérletünk? Azt, hogy az ivóvíz, a tiszta víz nagy ellenállást jelent az elektromos áram számára, az egyre jobban sózott víznek pedig egyre kisebb az elektromos ellenállása.

2. Kísérlet: vezeti-e a só az elektromos áramot? Egy papírlapra öntsünk kiskanálnyi sót. Vegyük ki a pohárból a két szénrudat, töröljük őket szárazra. Ezután dugjuk végüket a papíron levő kis sóhalomba. — Az izzó nem világít! Tehát a konyhasó **nem** vezeti az elektromos áramot.

Ez meglepő! Sem a tiszta víz nem vezeti az áramot, sem a só. De ha a nem vezető sót feloldjuk az ugyancsak nem vezető vízben, akkor a keletkező **oldat**, a sós víz, vezető lesz!

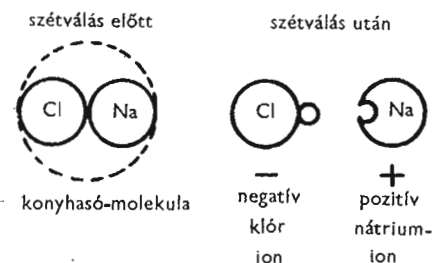
3. Kísérlet. Sózás helyett ecetet is csepegtethetünk a vízbe (vagy citromlevet, sósavat, kénsavat), a kísérlet akkor is jól sikerül.

Mi lehet ennek az érdekes jelenségnek az oka? Ezt megtudjuk a következő fejezetben.

Mi történik a konyhasó oldásakor?

Ha a sót vízbe szórjuk, feloldódik. Ez annyit jelent, hogy molekulákra válik szét. A konyhasó molekulája egy klóratomból és egy nátriumatomból áll (309. ábra).

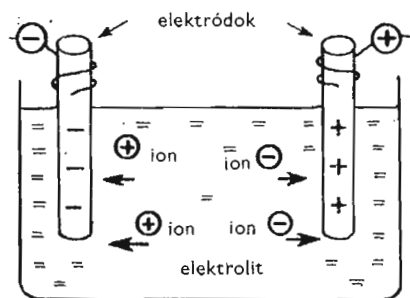
De a szétvált molekulákkal valami lényeges dolog történik: a sok-



309. Ez történik a konyhasó oldásakor

millió sómolekula között akadnak olyan molekulák, amelyek az oldódás közben atomjaikra bomlanak, tehát különálló nátrium- és klór-atomra válnak szét.

A szétválás azonban nem történik egészen egyszerűen, hanem a klóratom a nátriumatom elektronjai közül egy elektront magánál tart. Ezért a klóratom negatív töltésű lesz, a nátriumatom pedig pozitív töltésű (hiszen egy negatív töltés távozott belőle).



310. A folyadékban az ionok hordozzák az elektromos töltéseket

Tehát: ha a só vízben oldódik, akkor az eredetileg semleges sómolekulák közül egyesek pozitív és negatív töltésű molekularészekre válnak szét. Azt mondjuk, hogy **a konyhasó molekulája disszociálódott.**

Ezeknek az elektromos töltést mutató molekularészeknek a neve: **ion.** Ha tehát konyhasót oldunk vízben, akkor pozitív nátrium- (fém-) ionok és negatív klór- (nemfém-) ionok keletkeznek. Általában minden só oldásakor pozitív fémionok és negatív nemfémionok keletkeznek.

Jegyezzük meg: mindenfajta sós vagy savas oldatban vannak pozitív és negatív töltésű részecskék.

Most már könnyű megérteni, hogy az ilyen oldat miért vezeti az elektromos áramot (310. ábra). A pozitív ionok a zseblámpa **negatív** sarkával összekötött szénrúd felé úsznak. A negatív ionok pedig a szárazelem **pozitív** sarkával összekötött szénrúd felé. Így jut az elektromos töltés a folyadékon át egyik helyről a másikra. **Minél több a folyadékban az ion, annál jobban vezeti az elektromos áramot.**

A házilag tisztá folyadékban (például a desztillált vízben) nincsenek ionok, ezért nem vezeti az áramot.

Az áramot vezető folyadék neve: **elektrolit**.

A folyadékba nyúló szénrudak neve: **elektród**.

Könnyen szabályozzuk az áram erősségét

Kísérlet. Sózzuk (vagy ecetezzük) meg a pohárban levő vizet annyira, hogy az izzólámpa fényesen égjen. Akkor lassan emeljük egyre kijjebb a vízbe merülő szénrudakat. Látjuk, hogy a lámpa fénye gyengül.

Ez természetes. Hiszen minél kisebb lesz a folyadékba merülő szénrudak felülete, annál kisebb lesz a közöttük levő folyadék réteg keresztmetszete, annál szűkebb az áram útja, ezért növekedik az ellenállás.

Ilyen módon nagyon egyszerűen készíthetünk olyan **folyadékellenállást**, amellyel finoman szabályozhatjuk az áram erősségét ezredampertől több amperig.

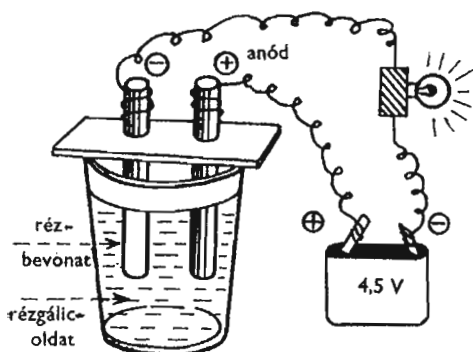
Az áram kémiai hatása

Rézbevonatot készítünk

1. Kísérlet. Most is a kimerült zseblámpatelepből kivett két szénrudacskára van szükségünk.

Egy vizespohárba öntsünk vizet, és oldjunk fel benne néhány darabka rézgálicot. A rézgálicot törjük porrá, hogy könnyebben oldódjék. Az oldatba merítsük bele a két szénpálcikát, és kössük hozzájuk egy elem sarkait egy zseblámpa közbeiktatásával (*311. ábra*). A zseblámpaizzó azért szükséges, hogy ne haladjon át erős áram az oldaton. Az izzó égése mutatja, hogy valóban halad át áram a folyadékon.

Kb. 5 min múlva emeljük ki a szénrudakat. Az elem negatív sarkával összekötött szénrúdon szép sima, fénylő rézbevonat keletkezett. Ha a szénrudak nincsenek rákapcsolva az elemre, akkor nem kelet-



kezik rézbevonat. Ez azt bizonyítja, hogy valóban az áram okozta a rézkiválást.

2. Kísérlet. Szénrudak helyett merítsünk két fényesre csiszolt vaszeget a rézgálicoldatba. Néhány perc alatt azon a szegen, amelyet **az elem negatív sarkához kapcsolunk, sima rézbevonat lesz.** — Mennél tovább folyik az áram, annál vastagabb lesz a rézbevonat.

Hasonló módon lehet bármilyen más fémtárgyat nikkellel, ezüsttel, arannyal bevonni. A tárgyat olyan oldatba tesszük, amely tartalmazza az illető fémet, azután a tárgyat egy áramforrás **negatív sarkával kapcsoljuk össze.**

Magyarázat: az oldatban levő fémionok töltése pozitív. Ezért természetes, hogy a fémionok a **negatív** sarokkal összekötött tárgy felé úsznak és erre rakódnak rá.

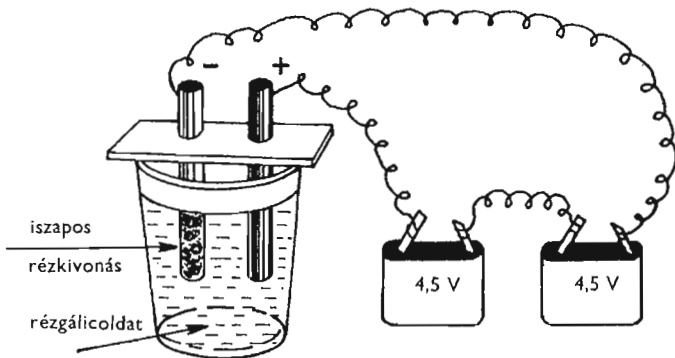
3. Kísérlet. Merítsük a rézgálicoldatba a rézből készült vezetődrotok két csupasz végét. Kapcsoljunk a drótokhoz egy zseblámpaelemet.

Azt vesszük észre, hogy a negatív sarokkal összekötött drótvég egyre vastagodik, mert egyre több réz rakódik rá. — A pozitív sarokkal összekötött drótvég pedig egyre vékonyodik, mert atomjai az oldatba mennek és a negatív drótvéghez vándorolnak.

A réziszap kiválasztása

Az elektromos áramot nemcsak arra használják, hogy fémbevonattal lássanak el más tárgyakat, hanem arra is, hogy a **fémeket nagy mennyiségben és nagyon tisztán kiválasszák oldataikból.**

Kísérlet. A rézgálicoldatba merülő szénrudakhoz most ne egy elemet kapcsoljunk, hanem a 312. ábra szerint sorbakötött két elemet, és ne tegyünk izzót az áramkörbe.



312. A réziszap kiválasztása

Emeljük ki 3-4 min múlva a szénrudakat. A negatív sarokkal összekötött szénrúdon most nem sima, fényes rézbevonatot találunk, hanem letörölhető, pelyhes, iszapszerű rézbevonatot.

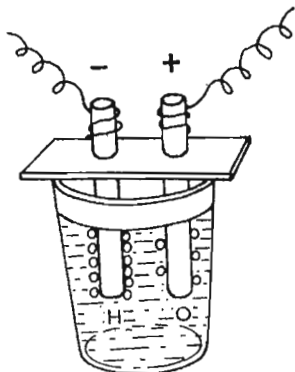
Előző kísérletünkben egy elem szolgáltatva az áramot, most pedig **kettő**. Előbb az áram gyengébb volt, mint most. Ha azt akarjuk, hogy a tárgyat szilárd fémréteg vonja be, akkor nem szabad az áramerősségnek nagyobbnak lennie bizonyos határnál.

Ahogy kísérletünkben rezet választottunk ki, hasonló módon lehet az 1000 fokon megolvastott bauxit-kriolit keverékből elektromos úton (elektrolízissal) kiválasztani az alumíniumot, vagy a 330 fokon megolvastott nátrium-hidroxidból a nátriumot.

Vízből hidrogén- és oxigéngázt állítunk elő

Kísérlet. A két szénpálcikát most ne rézgálicoldatba dugjuk, hanem — ecetes vízbe (313. ábra), és vezessük át rajtuk egy zseblámpaelem áramát. Mindkét szénpálcikán pezsgés jelentkezik.

Mit figyelhetünk meg ebben a kísérletben? — Először is azt, hogy az elem negatív sarkával összekötött szénpálcán (a katódon) sokkal erősebb a pezsgés, mint az elem pozitív sarkával összekötött szénpálcán (az anódon). A kémikusok megállapították, hogy a pozitív szénpálcán oxigéngáz válik ki, a negatív szénpálcán pedig hidrogén. Azért erősebb a pezsgés negatív szénpálcán, mert kétszer annyi hidrogénatom rakódik rá a negatív szénpálcá felületére, mint amennyi oxigénatom a pozitív szénpálcá felületére.



313. A vizet hidrogén- és oxigéngázra bontjuk

Másodszor, megfigyelhetjük magát a kivált anyagot, a hidrogéngáz és az oxigéngáz buborékjait. Egyik gáz sem egyesül a szénnel, ezért rárakódnak a pálcikák felületére.

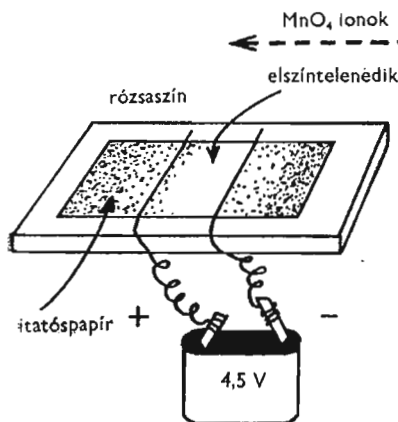
Ennek nagyon fontos következménye van, amint azt később meg látjuk egy kísérletben, amelyet ezekkel a szénpálcikákat beborító gázatomokkal végzünk.

Láthatóvá tesszük az ionok vándorlását

Az ionok atom vagy molekula nagyságúak, ezért szabad szemmel nem láthatók, de még fénymikroszkóppal sem. Nagy tömegben azonban színükről felismerhetők, amint ezt a következő, igen könnyen elvégezhető kísérletek bizonyítják.

1. Kísérlet: hipermangánnal. A hipermangán közönséges anyag (gyógyszertárban kapható). Egy-két mákszemnyit vízben oldunk. A vizet ibolyakékre színezi. A hipermangános vizet általában toroköblítésre használják. Mi az ionok vándorlását figyelhetjük meg segítségével.

A hipermangános vízbe mártsunk fehér itatóspapír-szeletet. A nedves papír rózsaszínű lesz. A papírszeletet tegyük sima felületre, például egy üveglapra. Az elemtől jövő drótok csupasz végét szorítsuk egymáshoz közel (0,5-1 cm) a nedves papírra (314. ábra).



Azt látjuk, hogy az elem negatív sarkával összekötött drótvégtől kezdődően elszíntelenedik a papírszelet —, mert a színt okozó ionok elvándorolnak a pozitív sarkokkal összekötött drótvég felé.

314. Látható az ionok vándorlása. — Ahonét elvándorolnak az ionok, ott elszíntelenedik a rózsaszínű papír

A hipermangán (KMnO_4) felbomlik K- és MnO_4 összetevőkre. Az MnO_4 okozza a rózsaszín elszíneződést, és ezek a negatív atomok a — drótvégtől a + drótvég felé vándorolnak.

2. Kísérlet: fenolftaleinnel. Egyes hashajtók, például a „Fenolftaleinum” tabletta hatóanyaga a fenolftalein.

Egy szem hashajtó tablettát oldjunk fel gyűszűnyi vízben (vagy pedig néhány szemecske igazi fenolftaleint oldjunk fel pohárnyi vízben). A vízzel itassunk át egy itatóspapír-szeletet, és — úgy, mint az előző kísérletben — szorítsuk rá egymáshoz közel az elemből jövő drót két csupasz végét.

Néhány másodperc múlva a negatív drótvég mellett piros szín jelenik

meg. És ez a pirosodás lassan halad a pozitív drótvég felé. Ezt a szintérjedést is az ionok vándorlása okozza.

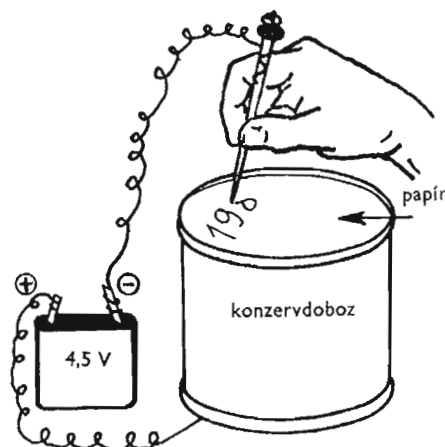
3. Kísérlet: konyhasóval. Rózsaszínű vagy piros itatóspapírcsikot nedvesítsünk át jól olyan vízzel, amelyben konyhasót (NaCl) oldottunk fel. Azután járjunk el úgy, mint az előző kísérletekben. **Az anód körül elszíntelenedik a papír.**

Ugyanis a konyhasó-molekula Na^+ és Cl^- ionokra bomlik. A negatív klórionok a pozitív drótvégen válnak ki, és mellette elszíntelenítik a papírt. — Köztudomású, hogy a klór erősen színtelenítő, „fehérítő” hatású anyag.

Pirosan ír a tompa hegyű szeg

Kísérlet. Gyűszűnyi konyhasós vízben oldjuk fel a fenolftalein tablettát, és ezt a fenolftaleines sós vizet öntsük egy konzervdoboz tetejére. Beleáztatjuk a fehér itatóspapírt, majd leöntjük a dobozról a felesleges vizet. A dobozt az elem pozitív sarkával kapcsoljuk össze (315. ábra).

Az elem negatív sarkától jövő vezeték csupasz végével lassan írhatunk a papírosra; piros nyomot hagy a drót vége. De még jobb, ha ezt a drótvéget egy tompa hegyű szeghez kötjük. A szeggel mint piros ceruzával írhatunk a nedves papírra.



315. Pirosan ír a tompa hegyű szeg

Készítsünk póluskereső papírt. Az előző kísérlethez használt fenolftaleines sós vízbe merítsünk fehér itatóspapírt, azután vegyük ki, és szárítsuk meg. Máris készen van a **póluskereső papírunk**. Ennek segítségével bármikor megállapíthatjuk azt, hogy az elemnek melyik sarka a „+” és melyik a „-”.

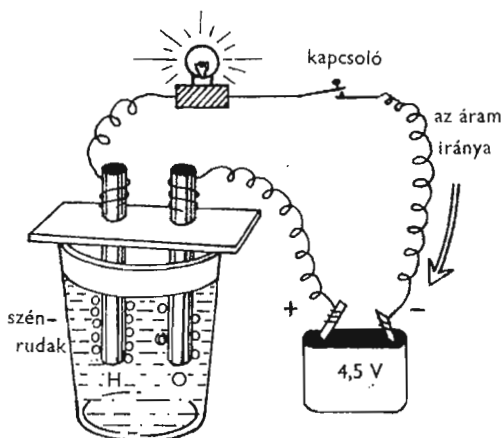
Letépünk póluspapírunkról egy darabkát, közönséges vízzel megnedvesítjük. Ezután rászorítjuk az áramforrástól jövő drótok végét. Amelyik alatt **pirosra színeződik a papír**, az a **drótvég a negatív** (lásd a 314. ábrát).

Gázakkumulátort készítünk

1. Kísérlet. Egy pohár vízbe csepegtessünk kevés kénsavat. (A kénsavval nagyon óvatosan bánjunk, mert erősen roncsol! Mindig a kénsavat csepegtessük a vízbe, sose fordítva!)

A két szénrudacskát dugjuk a kénsavas vízbe és egy (vagy két, sorbakapcsolt) zseblámpaelem áramát vezessük át a két szénrúdon és egy zseblámpaizzón (316. ábra).

Abban a pillanatban, amikor az áramot bekapcsoljuk, fényesen izzani kezd a lámpa. De a következő másodpercek alatt egyre gyen-



316. Gázakkumulátor egyszerű kísérletben

gében izzik. Végül kissé halványabban, mint kezdetben, de állandó fénnel világít tovább.

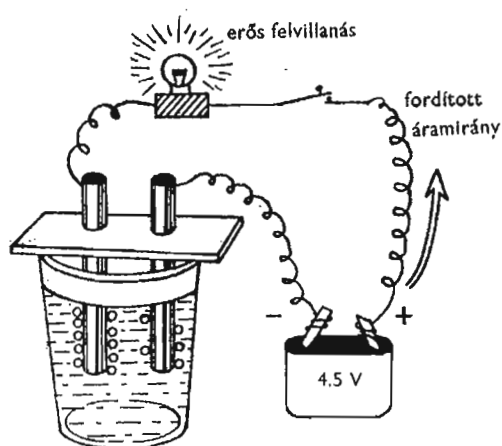
A kezdeti fényes izzás után miért csökkent a lámpa fénye?

Tudjuk, hogy miközben a savas vízen áthalad az áram, az egyik szénrúdra hidrogén rakódik, a másik szénrúdra pedig oxigén. Ezért rövid idő alatt az egyik rudat H-, a másikat pedig O-gáz vonja be.

A kísérlet elején két szénrúd merült a savas vízbe. Ez nem alkotott elemet. De amikor a szénrudakra ráakódnak a gázok, akkor mintha egy oxigénrúd és egy hidrogénrúd merülne a savba. **A két különböző anyag és a folyadék már elemet alkot.** Ennek az oxigénből, hidrogénből és savas vízből álló elektromos elemnek az árama éppen **ellenkező**, mint az ezeket a gázokat kiváltó zseblámpaelemnek az árama.

Természetes tehát, hogy a zseblámpaelem áramát legyengíti a vele éppen ellenkező irányban folyó áram, amelyet a „gázelem” okoz. Ezért izzik kísérletünkben gyengébben a lámpa.

2. Kísérlet. Amikor előző kísérletünkben a lámpa fénye már állandó marad (tehát már kialakult a „gázelem”), **cseréljük fel** a zseblámpaelem sarkain a drótvégeket (317. ábra). Így majd a zseblámpa elem is ugyanabban az irányban küldi át az áramot az izzólámpán, mint „gázelemünk”. A két áram egymást erősíteni fogja, és a lámpa fényesebben ég.



317. Ha úgy kapcsoljuk az elemet, hogy árama azonos irányú legyen a gázakkumulátor áramának irányával — erősen felvillan a zseblámpa-izzó

Nyomjuk le tehát a kapcsolót. — Látjuk, hogy az áram bekapcsolásának pillanatában valóban **igen erősen felvillan az izzó!** De fénye azonnal lecsökken a normális fényességre és ezután újra halványulni kezd, és ezzel a csökkent fényességgel világít tovább.

Azért tartott csak pillanatokig a felvillanás, mert a gázréteg pillanatok alatt lefogy a szénrudakról, tehát megszűnik a zseblámpaelem áramát támogató áram.

A szénrudakon lerakódó anyagok csökkentették az őket kiválasztó áram erősségét. Ezt a jelenséget **polarizációnak** nevezzük. Az elektrodokra lerakódott anyagok által okozott áram neve: **polarizációs áram.**

Készítsünk áramjelzőt

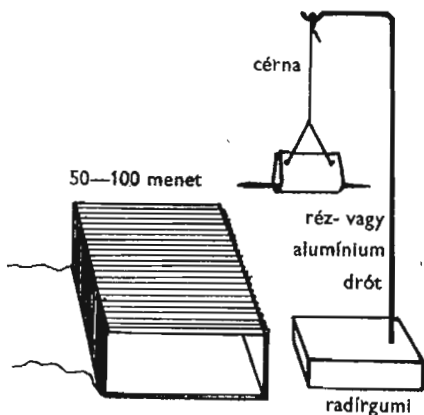
Gázelemünk áramát még látványosabban kimutathatjuk egyszerű áramjelzőnkkel. Ez azt is megmutatja, hogy a zseblámpaelemnek a gázlerakódást okozó áramával éppen ellenkező irányú az az áram, amely a gázbuborékok eltűnésekor keletkezik.

Áramjelzőnk így készül: gyufásdobozra 50-100 menetet tekercseljünk 0,2-0,3 mm vastag szigetelt (zománc szigetelésű is lehet) drótból. Mágnesezzünk meg jól egy vastagabb tűt (kötőtűdarabkát) vagy esernyődrót-darabkát, és függesszük fel vékony cérnaszálon (318. ábra). A felfüggesztő állvány drótja nem mágnesezhető anyagból (alumínium, réz) legyen.

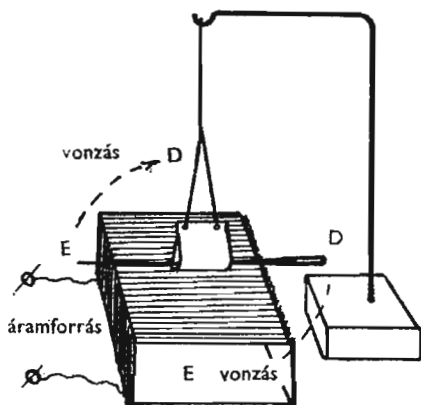
A tekercselt dobozt úgy helyezzük el a mágnesű alá, hogy a tekercsvények a tűvel párhuzamosan álljanak (319. ábra).

Vezessük a tekercsbe a vizsgálni kívánt áramot. Az áram mágnessé teszi a tekercset. — Tegyük fel, hogy a tekercs mágneses sarkai úgy helyezkednek el, mint a 319. ábrán. Ekkor a sarkok maguk felé vonzzák a keresztben álló mágnesű sarkait, és a mágnesű az ábrán jelzett irányban elfordul.

1. Kísérlet: a gázelemünkkel. A 316. ábrán látható kísérletünk alkalmával áramjelzőnket is kössük be az áramkörbe. Kapcsoljuk be az áramot. Ebben a pillanatban erősen kilendül a mágnesű.



318. A könnyen elkészíthető lengőtűs áramjelző alkatrészei

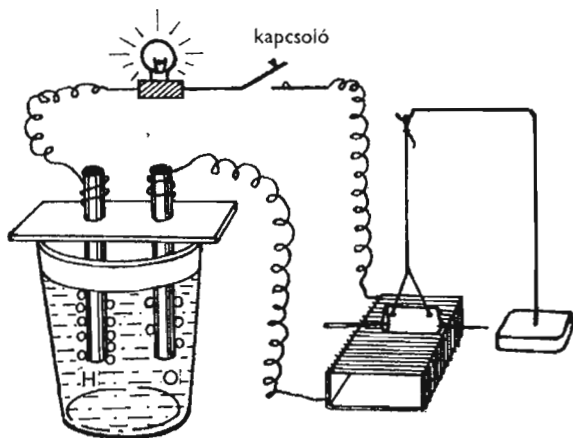


319. A lengőtűs áramjelző használatra kész

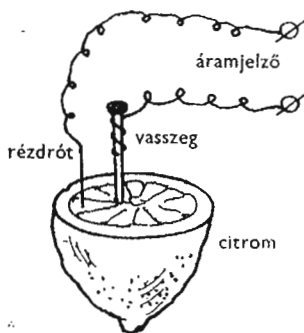
Majd csökkenő áramerősséget jelez. Végre egy kitérésnél már nem változtatja állását.

Jegyezzük meg, hogy melyik oldalra tért ki áramjelzőnk mutatójának északi (vagy déli) sarka.

Miután a szénrudakra elég O és H rakódott (1-2 min elegendő), távolítsuk el a zseblámpaelemet az áramkörből (320. ábra). Nyomjuk le a kapcsolót. Áramjelzőnk mágnesűje kilendül, áramot jelez. A tű azonban most ellenkező irányban tér ki, mint az előbb.



320. Gázelemünk ellenkező irányú áramot kelt, mint a töltő áram



321. A citromelem

A gázlerakódás által keletkezett gázelem áramának iránya tehát valóban ellenkező a zseblámpaelem áramának irányával.

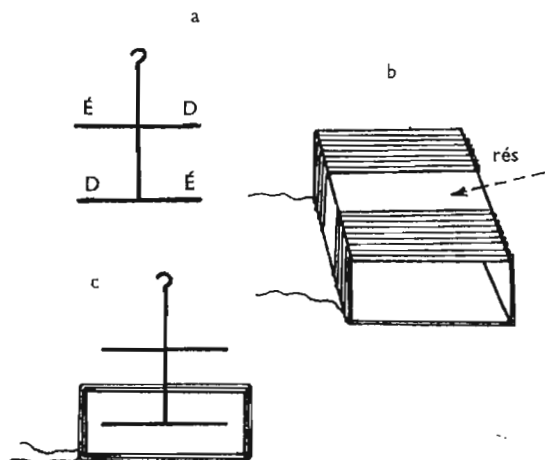
2. Kísérlet: a „citromelem” (321. ábra). A citromba szúrt szegtől jövő drót végét kapcsoljuk áramjelzőnk egyik sarkához. Az áramjelzőnk másik sarkától jövő rézdrót végét pedig szúrjuk a citromba, a szeg vége közelében. — Áramjelzőnk áramot jelez!

Még érzékenyebb lengőtűs áramjelző

A tekercs mágnessége kitéríti a mágnesűt, a Föld mágnessége pedig igyekszik visszahúzni. Annál jobban kitér áramjelzőnk mágnesűtje, minél nagyobb erővel hat rá a tekercs, és minél kisebb erővel húzza vissza a földmágnesség. A tekercs kitérő hatását megkétszerezhetjük,

a földmágnesség hatását pedig 10-szer, 100-szor kisebbre is lecsökkenhetjük a következőképpen (322. ábra):

Két mágnesezett, rövid tűt úgy erősítünk egymás fölé, hogy ellenkező mágneses sarkaik kerüljenek egymás fölé. Így ennek a tűpárnak mágnessége kisebb lesz, mint bármelyik tűé, hiszen mágnességeik részben lerontják egymás hatását.



322. A még érzékenyebb áramjelző

A földmágnesség tehát kisebb erővel hat erre a tűpárra, mint valamelyik tűre. Az ilyen tűpárt **asztatikus** mágnesűnek nevezzük (322a ábra).

A gyufásdoboz tetején vágjunk egy kis nyílást a 322b ábra szerint, hogy a nyíláson át a doboz belsejébe lógathassuk tűpárunk alsó tűjét. A felső tű pedig legyen a dobozon kívül (322c ábra). — Ekkor a tekercs mágnessége a belső tűre is meg a külső tűre is hat, mégpedig **ugyanabban** az irányban. Tehát a tekercs hatása megkétszereződik.

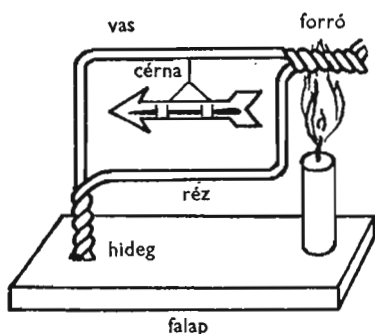
Hasonlítsuk össze a kéttűs (asztatikus) áramjelzőnket az egyszerű tűssel. Valóban nagyobb kitérést ad? Valóban érzékenyebb?

Hőből elektromos áram

A gyertyaláng elektromos áramot kelt

1. Kísérlet: hőelem. Egy vastagabb (kb. 1 mm átmérőjű) vas- és rézdrót végeit dörzspapírral csiszoljuk fényesre, azután csavarjuk össze a végeket (323. ábra).

Helyezzünk vékony cérnaszálon függő, jól megmágnerezett tűt a drótok közé (papírnyilacskába is szúrhatjuk, így kimozdulását jobban észrevevessük).



323. Hőelem vas- és rézdrótból

Melegítsük lánggal (gyertya, gyufa) az egyik érintkezési helyet. — Kitér a mágnesű! Áramot jelez!

Ha tehát két különböző fémeket vezetőkörre egyesítünk, és az egyik érintkezési helyet melegítjük, akkor a vezetőkörben elektromos áram indul. Ezt **hőelektromos** (termoelektromos) áramnak nevezzük.

A keletkezett áram annál erősebb, minél nagyobb a hőmérséklet-különbség a melegített és a nem melegített (hideg) érintkezési pontok között.

Az áram erőssége (helyesebben az áramot okozó **elektromotoros** erő, a feszültség nagysága) a hőmérséklet-különbségen kívül függ még az alkalmazott fémektől is.

Kísérletek és mérések alapján a fémeket úgynevezett hőelektromos sorba állították. Ilyen sor

vas (83)	réz (72)	nikkel (51)	konstantán (30)
-------------	-------------	----------------	--------------------

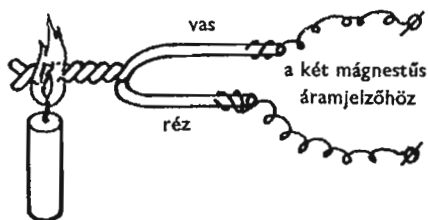
Válasszunk ki a sorból bármely két fémét. Ha érintkezési (összeforrasztási) helyüket melegítjük, akkor az a fém lesz a melegítés helyén negatív, amelyik a sorban előbb áll. A mi kísérletünkben összeállított vas-réz hőelemben a vas a negatív, tehát a melegítés helyén a rézből folyik az áram a vas felé.

Mekkora feszültség keletkezik? Ezt is megtudjuk, a hőelektromos sorból. Vonjuk ki egymásból a két fém alatt álló számot: $83 - 72 = 11$. Ez azt jelenti, hogy a két fém melegített és hidegen maradt érintkezési helye között 11 milliomod V ($11 \mu\text{V}$) feszültség keletkezik, ha a két érintkezési hely között 1 fok a hőmérséklet-különbség.

Tegyük fel, hogy kísérletünkben 100 fok a két hely között a hőmérséklet-különbség, akkor $100 \times 11 \mu\text{V} = 1100 \mu\text{V}$, azaz kb. 0,001 V a feszültségkülönbség. — Ha tehát 1 V feszültségű elemet akarunk hőelektromos úton előállítani, akkor vas-réz hőelem esetén ezer darab ilyen hőelemet kellene sorbakapcsolni, és az egyik összecsavarási helyet a forrásban levő víz hőfokán kellene tartani, a másikat pedig az olvadó jég hőfokán.

Ha pedig egy zseblámpaelemet (feszültsége 4,5 V) akarnánk vas-réz hőelemmel helyettesíteni, akkor már 4500 hőelemre lenne szükségünk.

2. Kísérlet: a legegyszerűbben így mutatjuk ki a hőelektromos ára-



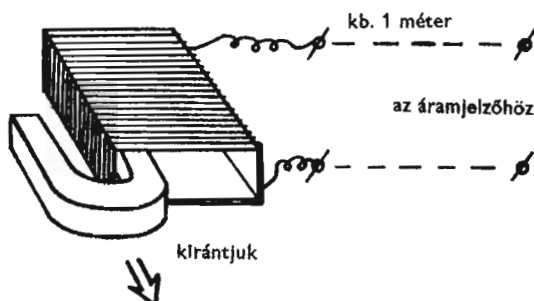
324. Így készíthetünk legegyszerűbben hőelemet, és mutathatjuk ki áramát

mot. A réz- és vasdrót tisztára csiszolt végét összecsavarjuk (324. ábra). Másik két végükhöz pedig hozzákapcsoljuk kétmágnessűs áramjelzőnk. — Az összetekert drótvégek melegítésekor jól kitér áramjelzőnk.

Munkavégzésből elektromos áram

Mágnesset mozgatunk — áram keletkezik

Egy gyufásdobozra tekercseljük kb. 100 menet vékony, szigetelt drótot (mint áramjelzőnk készítésekor). A gyufaszálakat tartó részt most távolítsuk el. A drótvégeket kössük kétmágnessűs áramjelzőnk-höz (325. ábra). Az áramjelző és a tekercselt gyufásdoboz legyen egymástól kb. 1 m távolságra.



325. A mágnesses erőtér változásával keltünk elektromos áramot

Dugjuk be a tekercselt dobozba egy mágnesspatkó egyik szárát. Rántunk ki hirtelen a mágnesset a dobozból. — Ebben a pillanatban kilendül áramjelzőnk. — Áram keletkezett.

Ha a kísérletet ismétljük, de most a mágness másik sarkával, akkor ellenkező irányú áramot jelez áramjelzőnk.

MÉG EZT SZERETNÉM MONDANI...

Kísérleteink elvégzése közben talán felébredt az igény bizonyos fizikai eszközök iránt. Ilyenek: egy ablakhőmérő, egy szobahőmérő, egy nagy átmérőjű lencse foglalatban (olvasólencse, lupe), egy kisebb, 5-10-szeres nagyítású lencse (úgynevezett lenszálólasó) és egy olcsó színházi messzelátó. Ezek az eszközök aránylag nem drágák. Nemcsak a háztartásban, életünkben tesznek naponta jó szolgálatot, hanem sok tanulságos megfigyelésre is alkalmat adnak a család aprajánknagyjának. Éppen úgy hozzátartoznak az otthon felszereléséhez, mint az óra.

Amikor elvégeztem az egyetemet, nehéz körülmények között éltem. Első keresetemből mégis egy jutányos áron kínált prizmás messzelátót vettem. Sohasem bántam meg.

Mennyi pénzt adunk ki felesleges dolgokra, fásasztó szórakozásokra. Sokkal kevesebbet néhány százszoros nagyításig használható mikroszkópot vehetünk. A vele való megfigyelés az élvezetes ismeretszerzés kiapadhatatlan forrása.

Könyvünkben a kísérletek sorát a dörzsölési (sztatikai) elektromossággal befejeztük. Helyhiány miatt nem került sor az elektromosságtan többi területére. Lehet, hogy egy további kiadványban pótoljuk.

Kísérletezés közben vagy másutt olvasóink is rábukkannak talán egyszerűen előállítható, érdekes jelenségekre. Kérjük, hogy közöljék őket a Kiadó útján a szerzővel. Könyvünk újabb kiadásában közkinccsé tesszük a megfelelőket.

De csak könyvekben adni útmutatást a tapasztalati ismeretszerzésre

nem elegendő. A házilag elvégezhető kísérletek a jelenségek aránylag kis körét ölelik fel. Többet szeretnénk. Szeretnénk belenézni egy igazi színeképelemzőbe, tükrös messzelátóba, szeretnénk ködkamrát működtetni, a sötétben látni infravörös sugarakkal. Jólétünk és egész kultúránk alapja a természeti erők és jelenségek felhasználása.

Mégis, a mai napig hiányzik egy olyan nyilvános intézményünk, ahol mindenki számára érthetően folynának le nagy változatosságban az alapvető fizikai, kémiai és élettani jelenségek, és lenne szemmel látható kapcsolatunk a termeléssel, jólétünkkel, a technikával.

Népművelési politikánk sürgős feladata az, hogy ezt a beláthatatlan fontosságú intézményt létrehozza, amely megértetné a jelent, és tapasztalatokon alapuló tudást adna a jövő építésére.

Miért keletkezett áram? Tudjuk, hogy a mágnes két sarkát mágneses erővonalak kötik össze. A mágnes mozgatásakor ezek a mágneses erővonalak metszik a tekercs meneteit. Ilyenkor a vezetőben áram keletkezik.

De úgy is mondhatjuk, hogy a mágnes kihúzásakor, betolásakor **a tekercsben változik a mágneses erőter.** Ha pedig egy tekercs belsejében változik a mágneses erőter erőssége: **áram keletkezik (feszültség indukálódik)** a tekercsben.

© Aranyhal Könyvkiadó

Felelős kiadó: Radván Sándor

Művészeti vezető: Radván Xénia

Szerkesztő: Boda Brigitta

Írta: Öveges József

DTP: Karácsony Orsolya, QuartExpress Bt.

Nyomdai szervezés: Sifi Reklám Kft.

ISBN: 963 8366 24 9

Nyomtatta és kötötte a Kaposvári Nyomda Kft. – 190883

Felelős vezető: Pogány Zoltán igazgató

