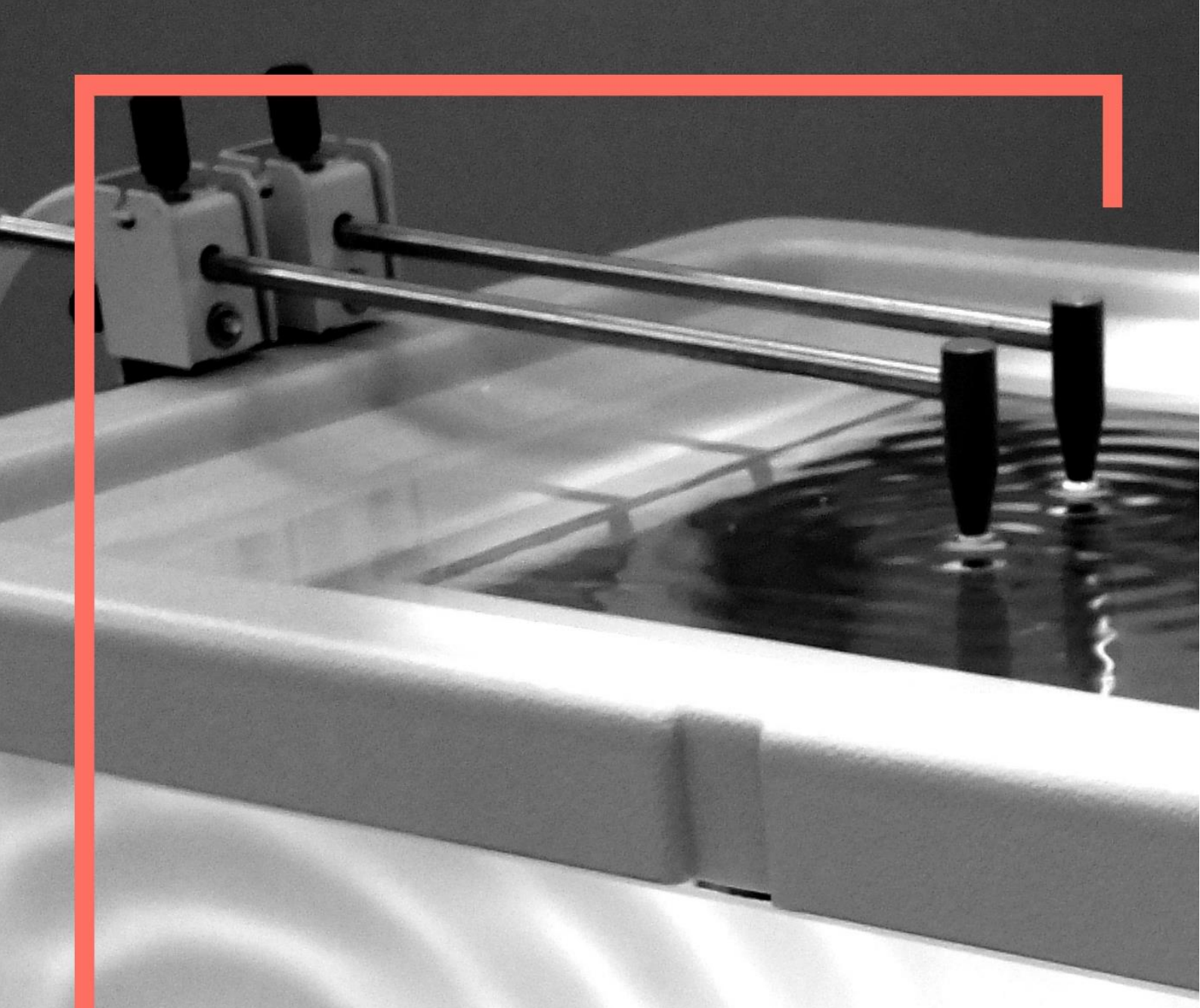


Fizikai kísérletek általános és középiskolában

UNIVERSITAS BUDAPESTINENSIS DE ROLANDO EÖTVÖS NOMINATA
16 35

Szakmány Csaba, Hömöstrei Mihály, Wiener Csilla, Molnár András, Pesthy Sándor Gergely, Jenei Péter

Fizikai kísérletek általános és középiskolában

Egyetemi jegyzet

Szerkesztette

Jenei Péter

Lektor

Tomcsányi Péter

ELTE 2020

Bevezetés

„Képzeljük el, hogy a "világ" állandóan mozgásban lévő tárgyak bonyolult elrendeződése, egyetlen hatalmas sakkjátszma, az istenek játsszák, s mi csak megfigyelhetjük a játék szabályait. E világméretű játszma szabályai: a fizika alapjai.”

Richard P. Feynman

A „Fizikai kísérletek általános és középiskolában” jegyzet alapját az Eötvös Loránd Tudományegyetem Fizika Demonstrációs Laborjának kísérletei adják, de nem csak egy egyszerű kísérletgyűjtemény. A leírások mellett szakmódszertani és szakmai kiegészítések, kísérletekhez kapcsolódó kérdések is találhatók.

A jegyzet megírásának igazi indikációját érdekes módon a hallgatói felelések adták. Minden laboron, minden hallgató egy kísérletet bemutat a laborvezetőnek. A felelet után visszajelzést adunk, mely során rengeteg szakmai és szakmódszertani tanács hangzik el. A megbeszélés során sokszor látom, hogy a hallgatók megvilágosodnak és/vagy jól szórakoznak egy-egy mókás kísérlethez kapcsolódó történeten. A hallgatók egy részében reményeim szerint ezek megmaradnak és felhasználják a későbbi tanítási gyakorlatuk során, azonban az egyéni felelésből fakadóan nem mindenki részesülhet minden történetben, nem hallgathat meg minden tanácsot. A jegyzet „módszertani kiegészítések” fejezetei ezt szeretnék pótolni. Ide beleírtunk minden visszatérő szakmai problémát, mókás kiegészítést, akár személyes történetet, amit el szoktunk mondani, és melyek az évek során sok mosolyt és rácsodálkozást jelentettek a hallgatók számára.

Bár ezek a megjegyzések többségében nem jelentenek újdonságot a régebben pályán lévő tanárok számára, a dokumentumot olyan szerkezetben írtuk, hogy hasznos legyen a gyakorló tanároknak is. Sok fénykép, házi eszközös kísérlet, összeszerelési és bemutatási tanács van a leírásokban. A jegyzet digitális verziója a labor honlapján megtalálható, ahol a nehezebb kísérleteknél videós kiegészítések is láthatók. A hallgatók figyelmébe ajánlom, hogy nem ez az a jegyzet, melyből a laborra kell készülni, ez csak kiegészítést jelent a kísérletekhez!

A jegyzet sok helyen támaszkodik a Fizika Demonstrációs Labor 30 éves gépelt jegyzetére, mely sok esetben még mindig aktuális, valamint azok módszertani tanácsaira, akik az elmúlt években a laborban tanítottak. Így köszönettel tartozunk nyugdíjas kollégáinknak: Bérces György, Főzy István, Illy Judit, Juhász András, Lévius Ernő, Párkányi László, Rajkovits Zsuzsanna, Skrapits Lajos.

Budapest, 2020. szeptember 1.

A szerzők nevében
Jenei Péter

Tartalom

Bevezetés ... 3
1. A kísérletezés szerepe a fizikatanításban ... 10
2. Irodalmi áttekintés ... 12
3. Jó gyakorlatok a kísérletezésben ... 15
4. Kísérletek leírásának szerkezete ... 24
5. Mechanika ... 26
5.1. Egyenes vonalú egyenletes mozgás megfigyelése ún. Mikola-csővel ... 27
5.2. A mozgások függetlenségének bemutatása kalapácsos ejtőgéppel ... 28
5.3. Lejtőn leguruló golyó mozgásának vizsgálata (Galilei-lejtő) ... 29
5.4. Ejtőzsinór készítése ... 31
5.5. A nehézségi gyorsulás értékének mérése deszka-ingával ... 32
5.6. A nehézségi gyorsulás nagyságának meghatározása okostelefonnal ... 34
5.7. Nehézségi gyorsulás mérése fénykapuval ... 35
5.8. Nehézségi gyorsulás értékének meghatározása Audacity számítógépes akusztikus mérőprogram segítségével ... 36
5.9. Kísérletek a tehetetlenség törvényére ... 38
5.10. Newton II. törvényének sztatikus erőfogalomra alapozott bevezetése ... 41
5.11. Ütközéses méréssorozat a tehetetlen tömeg fogalmának bevezetéséhez ... 44
5.12. Lejtőn való mozgás vizsgálata LabCamera program segítségével ... 47
5.13. A hatás-ellenhatás törvényének demonstrációs lehetőségei ... 49
5.14. Súly és súlytalanság ... 51
5.15. Súrlódásos kísérletek ... 53
5.16. Légpárnás jármű CD-ből, kupakból, lufiból ... 56
5.17. Az impulzusmegmaradás érzékeltetése "ágyús" kiskocsival ... 57
5.18. Ágyú csipeszből és vasgolyóból ... 58
5.19. Ütközési kísérletek ... 59
5.20. Forgómozgás dinamikai vizsgálata abroncs-készülékkel ... 63
5.21. Gyorsulásérzékelő szenzor helyének meghatározása az okostelefonban ... 66
5.22. Kísérletek a tehetetlenségi erőkre ... 67
5.23. Foucault-inga modell ... 71
5.24. Kísérletek az impulzusmomentum tételre ... 72
5.25. Kísérletek erőmentes- és súlyos pörgettyűvel ... 75

5.26. Fonálinga lengésidejének vizsgálata 78

5.27. Egy harmonikus rezgőmozgást végző test és egy egyenletes körmozgást végző test árnyékának összehasonlítása 81

5.28. Rugóra függesztett test rezgésidejének vizsgálata 83

5.29. Rezgő test mozgásának elemzése LabCamera program segítségével 84

5.30. A Tracker videóelemző program modellezés funkciójának használata közegellenállással csillapított rezgés esetén 85

5.31. Csatolt rezgések bemutatása ingapárral 87

5.32. Rezgéscsatolás bemutatása Wilberforce-ingával 88

5.33. Kényszerrezgés és rezonanciajelenség bemutatása ("rezonancia kocsi") 89

5.34. Rezonancia trükkös bemutatása ingákkal 91

5.35. Rezgések összegzése: két, hanggenerátorral keltett rezgés összegzése oszcilloszkóppal (egyirányú és egymásra merőleges rezgések) 92

5.36. A fizikai inga lengésidő-formulájának illusztrálása 94

5.37. Transzverzális és longitudinális hullámterjedés modellezése 96

5.38. Állóhullámok keltése szabályozhatóan (súlyokkal) feszített fonálon 100

5.39. Állóhullámok keltése patkómágnes sarkai között kifeszített, váltóárammal izzított dróton 103

5.40. Húr ("monochord") rezgéseinek vizsgálata 105

5.41. Pálca (acélszalag), valamint változtatható átmérőjű abroncs rezgéseinek megfigyelése 107

5.42. Lemezek rezgéseinek megfigyelése 108

5.43. Dob (gumimembrán) rezgéseinek megfigyelése stroboszkópos megvilágításban 109

5.44. Hangvilla rezgésének megfigyelése stroboszkópos megvilágításban 111

5.45. A hang sebességének mérése állóhullámokkal 112

5.46. Hanglebegés előállítása két hangvillával 114

5.47. Fáziskülönbséggel kibocsátott hanghullámok interferenciája 115

5.48. Mérések Audacity számítógépes akusztikus mérőprogram segítségével 116

5.49. Duda szívószálból és lufiból 119

5.50. Nyomás nyugvó folyadékban 120

5.51. Kísérletek Arkhimédész törvényére 123

5.52. Sűrűségmérés Archimédész-törvény segítségével 126

5.53. Kísérletek a légnyomásra 127

5.54. Goethe barométer (hőmérő) házilag 130

5.55. Áramlási vonalak szemléltetése Pohl-féle készülékkel 131

5.56. Bernoulli-törvényt szemléltető kísérletek 133
5.57. Magnus-effektus hurkapálcára rögzített hengerrel és magnus-sikló készítése 135
5.58. A közegellenállás vizsgálata 137
5.59. Légáramlás sebességének mérése Pitot–Prandtl-féle szondával 140
5.60. Örvények konzervdobozból, házi füstfújó készítése 142
6. Hőtan 143
6.1. Szilárd testek lineáris hőtágulása 144
6.2. Test és üreg hőtágulásának megfigyelése a Gravesande-kísérlettel („golyó+karika”) 149
6.3. Folyadékok hőtágulásának bemutatása 150
6.4. Gázok hőtágulása 151
6.5. Gázok állapotváltozásai 153
6.6. A Boltzmann állandó számértékének meghatározása étergőz parciális nyomásának mérésével 159
6.7. Víz felszívása gyertyával 160
6.8. Olvadó jég és forrásban levő víz hőmérsékletének mérése 161
6.9. Párolgó folyadék hőmérsékletének mérése 163
6.10. „Szomjas kacsa” 164
6.11. A forráspont nyomásfüggésének bemutatása 165
6.12. Jég olvadáspontjának csökkentése 168
6.13. Kristályosodási hő mérése 169
6.14. Víz fajhőjének közelítő meghatározása 171
6.15. Kísérlet az adiabatikus tágulással járó lehűlésre és a kondenzációs magvak szerepére a ködképződésnél 172
6.16. Kísérletek a hősugárzásra és a hőelnyelésre 173
6.17. Kísérletek a hővezetés szemléltetésére 175
6.18. Kísérletek a hőáramlás szemléltetésére 177
6.19. A kinetikus gázelmélet szemléltetése 179
6.20. Molekulaméret nagyságrendjének becslése 181
6.21. Kísérletek diffúzióra 182
6.22. A folyadékfelszín „rugalmas” tulajdonsága 185
6.23. A felületi feszültség anyagfüggésének demonstrálása 187
6.24. Kísérletek folyadékhártyákkal 189
6.25. Szappanhártyák görbületi nyomásának demonstrálása 192

6.26. Szilárd fal közelében kialakuló folyadékfelület megfigyelése 193
6.27. Mosószer-oldat felületi feszültségének mérése csepegtetéses módszerrel 196
7. Elektromosságtan 197
7.1. Anyagok elektromos állapotba hozása dörzsöléssel 198
7.2. Töltött testek között működő erőhatás kimutatása 199
7.3. Ellentétes töltések összegzése, az előjeles jelölésmód indoklása 201
7.4. Elektroszkóp feltöltése megosztással 202
7.5. Az elektrofór működésének bemutatása 204
7.6. Vezetőre vitt töltés elhelyezkedésének vizsgálata 205
7.7. Kísérletek a csúcshatásra 208
7.8. Kísérletek Faraday-kalitkával és Faraday-pohárral 210
7.9. Töltött testek körül kialakuló erővonalrendszer modellezése olajba szórt darával, dipólláncok kialakulása 213
7.10. A kapacitás fogalmának kialakítására szolgáló alapkísérlet bemutatása 214
7.11. Hajfelállítás 217
7.12. Elektrosztatikai kísérletek házi eszközökkel 218
7.13. Feszültség és áramerősség mérése 220
7.14. Ohm-törvény mérése ellenállással és izzószállal 222
7.15. Soros- és párhuzamos kapcsolás feszültség- és áramerősség-viszonyainak mérése 223
7.16. Hőfejlődés vizsgálata áramjárta vezetőkön 226
7.17. Az ellenállás hőmérséklet-függésének demonstrálása 229
7.18. Wolframszál hőmérsékleti együtthatójának mérése 230
7.19. Kapocsfeszültség mérése a terhelés függvényében 232
7.20. Kísérletek félvezetőkkel 234
7.21. Permanens mágnes terének vizsgálata 236
7.22. Egyéb kísérletek permanens mágnessel 238
7.23. A dia-és a paramágneses tulajdonság demonstrálása. 241
7.24. Az áram mágneses terének kimutatása 242
7.25. Áramjárta vezetők mágneses terének szemléltetése vasreszelékkel 244
7.26. Áramjárta tekercs belsejében kialakuló mágneses tér mennyiségi jellemzése 247
7.27. Mérőkeretre ható forgatónyomaték bemutatását szolgáló demonstrációs kísérlet állandó mágneses térben 250
7.28. A mágneses tér áramra gyakorolt hatásának kimutatása 253

7.29. A mozgási indukció jelenségének bemutatása 254
7.30. A mozgási indukció mennyiségi viszonyainak érzékeltetése 255
7.31. A nyugalmi indukció jelenségének bemutatása 256
7.32. Lenz-törvény szemléltetése ún. abroncs-készülékkel 258
7.33. Lenz törvényének szemléltetése csőben leeső mágnessel 259
7.34. A Lenz-törvényt demonstráló Thomson-féle gyűrűkísérlet bemutatása 260
7.35. Az örvényáramok hatásának bemutatása Waltenhofen-féle ingával 262
7.36. Az örvényáramok „kézzelfogható" hatásának érzékelése elektromágnes pólusai közé suhintott fémlemezzel 263
7.37. Hétköznapi elektromosságtan 264
7.38. A transzformátor áttételi viszonyainak mérése 269
7.39. Bekapcsolási és kikapcsolási jelenség bemutatása induktív tagot tartalmazó áramkörben 271
7.40. Tekercs (1200 menetes iskolai transzformátortekercs) önindukciós együtthatójának számolása ohmos ellenállásának és impedanciájának mért adataiból 274
7.41. Kondenzátor kapacitásának számolása az impedancia mérésével 277
7.42. Feszültségrezonancia bemutatása soros RLC áramkörben 279
7.43. Kondenzátor töltése és kisütése ohmos ellenálláson át 281
7.44. Az elektrolitikus vezetés szemléltetése sóoldattal, zsebizzóval 284
7.45. Az ionsúrlódási jelenség bemutatása 285
7.46. Galvánelem összeállítása, működésének vizsgálata 286
7.47. Krumpli (vagy gyümölcs) áramforrás készítése 288
7.48. Volta-oszlop építése pénzérmékből 290
7.49. Elektrolízis réz-szulfát oldattal és/vagy cink-jodid oldattal 291
7.50. Vízbontás Hoffmann-féle készülékkel. A Faraday-állandó értékének nagyságrendi meghatározása 292
7.51. Kísérletek a termofeszültség bemutatására 294
8. Optika 297
8.1. Párhuzamos fénynyaláb előállítása 298
8.2. Kísérletek a Hartl-féle koronggal 301
8.3. Fénytani demonstrációs kísérletek vizeskáddal 310
8.4. Tükrök leképezésének demonstrálása 313
8.5. A domború lencse fókusztávolságának meghatározása ún. Bessel-módszerrel 317
8.6. Optikai eszközök modelljeinek összeállítása 318

8.7. Kísérletek hullámkáddal 321
8.8. Réselhajlási jelenség bemutatása 325
8.9. Drótszál (vagy tű) elhajlási képének bemutatása 327
8.10. A fényelhajlás jelensége optikai rácson, a fény hullámhosszának meghatározása 328
8.11. Keresztrácson elhajló fény interferenciaképének bemutatása 330
8.12. Egy speciális reflexiós rács (CD) "rácsállandójának" meghatározása He-Ne lézerfény elhajlási képéből 331
8.13. A leképezés Abbe-elméletének egyszerű demonstrálása 333
8.14. Vetítés Schlieren-módszerrel 335
8.15. Newton színes gyűrűinek észlelése, kivetítése 337
8.16. Polarizált fény előállítása fekete üvegről visszaverődéssel 339
8.17. Polarizálás üveglemez kötegen történő sorozatos fénytörés révén 341
8.18. Polárszűrők használata, rezgési síkjuk megállapítása 343
8.19. Mészpátkristály kettőstörő tulajdonságának bemutatása 344
8.20. Interferencia jelenség létrehozása párhuzamos poláros fénynyalábbal 345
8.21. Modellkísérlet az égbolt kék színére, polározottságára és naplemente vörös színére 347
8.22. Hagyományos izzólámpa, energiatakarékos kompakt fénycső és LED lámpa relatív fényteljesítményének összehasonlítása 348
8.23. Napelemcella vizsgálata 350
9. Modern fizika 352
9.1. A fotoeffektus kimutatása 353
9.2. Pénzérme pöckölés – A Rutherford-féle szórási kísérlet demonstrálása 355
9.3. Folytonos színkép vetítése 356
9.4. A folytonos spektrum színeinek egyesítése, részleges egyesítése 359
9.5. Higanygőz-lámpa spektrumának megfigyelése egyeneslátású prizmával, ún. mattpálcás módszerrel 362
9.6. Higanygőz- és nátriumgőz-lámpa spektrumának vetítése 363
9.7. Kálium-permanganát-oldat abszorpciós színképének vetítése 366
9.8. CD-spektroszkóp készítése 368
10. A demonstrációs laborról 369
Köszönetnyilvánítás 374

1. A kísérletezés szerepe a fizikatanításban

A kísérletezés szerepéről, fajtáiról, a fizikaszertár berendezéséről stb. részletesen ír A fizika tanítása a középiskolában I. című jegyzet (624-632. oldal). Ezen tartalmakat nem szeretnénk megismételni, csupán néhány fontosabb észrevételt hangsúlyozunk ki, és példákkal illusztrálunk.

A kísérletezés egy szemlélet a világról. Annak felismerése, hogy a természet törvényeinek megismerése csak megfigyeléssel lehetséges. Ennek a művészi megfogalmazása a bevezetésben olvasható Feynman-idézet. Kísérleteinkkel figyeljük meg az isteni játszma lépéseit és az azok alapján megfogalmazott törvényszerűségekkel számíthatjuk ki a következő lépést.

A kísérletek megtanítanak minket arra is, hogy mi a lényeges (mit kell figyelembe venni) és mi a lényegtelen (amit elhanyagolhatunk), ezáltal erősítik a modellalkotó gondolkodásmódot.

Ezek kialakítása miatt feltétlenül fontos kísérletezni a fizikaórákon. Érdemes azt is figyelembe venni, hogy diákjaink jelentős része el fogja felejteni, hogy konkréten mit tanult tőlünk. Nem fogják tudni pontosan, mi a Lenz-törvény, vagy a fényelektromos hatás. Tartósan csupán az maradhat meg *hogyan* tanítottunk: voltak-e kísérletek, érdekes történetek, technikai alkalmazások stb. Emellett ha visszatérően foglalkozunk a természettudományos szemlélet kialakításával és a gondolkodásfejlesztéssel, akkor az is maradandó lehet.

Fontos kihangsúlyozni, hogy nem a kísérletek mennyisége számít, sokkal inkább, hogy mennyire voltak beillesztve az oktatási folyamatba. Ennek megkönnyítésére minden kísérlet esetén pontosan megadjuk a kísérlet célját.

A fizikai kísérleteket többféleképpen is csoportosíthatjuk. A kísérletező személye alapján feloszthatjuk tanulói és tanári kísérletekre. Jelen jegyzet legnagyobb része a tanári kísérletekre koncentrál, de kiegészítésként mindig megjegyezzük, ha valamelyik alkalmas tanulói kísérletnek is. A tanári kísérletezés előnye, hogy gyors és lényegre törő. A tanár pontosan tudja, hogyan kell elvégezni a kísérletet, ezért nem ragad le a technikai problémáknál/részleteknél. Emellett tudja, hogy miért végzi a kísérletet, irányítani tudja a tanulók figyelmét, így a tapasztalatok leszűrése is gyorsabb, lényegretörőbb, a táblai dokumentációt is könnyebb megtervezni. Ez persze nem azt jelenti, hogy a diákok passzív befogadók (lásd 3. fejezet: Jó gyakorlatok a kísérletezésben).

A tanári kísérlet célját tekintve lehet:

A) **Motiváló, érdeklődést keltő kísérlet.** Ennél a típusnál nem követelmény, hogy mély fizikai háttere legyen a kísérletnek. Sokszor elég, ha csak a gyönyörködtetésen van a hangsúly (például: óriás szappanbuborék). Ebbe a kategóriába tartoznak azok a bonyolult kísérletek is, melyeket nem tudunk középiskolai szinten teljesen megmagyarázni (például: Abbe-elmélet), de érdekességük miatt hasznos a bemutatásuk. Az ilyen jellegű demonstrációnál teljes körű táblai dokumentációra sem kell törekedni, mert elsősorban nem oktatási célja van, hanem a fizikához fűződő pozitív attitűd kialakítása a feladata.

B) **Egy-egy fizikai törvény tapasztalati megalapozása, vagy a már kimondott törvény igazolása.** Gondolhatunk itt a tehetetlenség törvényének illusztrálására, a hőtágulás, áram mágneses hatásának, vagy a fényelektromos jelenségnek a demonstrálására. Gyűjteményünk rengeteg kísérlete tartozik ebbe a kategóriába, sokszor ezt a kategóriát nevezik tanári demonstrációs kísérletnek. Ebben az esetben nem a számszerűsítés a lényeg, hanem a jelenség értelmezésén, vagy a kapcsolódó fogalom elmélyítésén van a hangsúly.

C) A kísérletek egy harmadik csoportját alkotják azok a mérések, ahol **egy anyagi paraméter** (pl. elektromos ellenállás, kristályosodási hő, stb.) **kimérése**, vagy egy **univerzális fizikai állandó közelítő meghatározása** (pl. Boltzmann-állandó) a feladat. Itt a fizikai ismeretek elmélyítésén túl a mérési módszerek és eszközök megismertetése, a mérési kompetencia fejlesztése is cél. Bár az ebbe a kategóriába tartozó kísérletek technikailag nehezebbek, nagyon fontos ilyenek elvégzése is. Ennek hiányában a fizikáról kialakulhat az a hamis kép, hogy kézlengetős magyarázatokra és illusztrációkra épül. Fontos annak bemutatása, hogy a fizikai törvényeket gondosan elvégzett, számszerűsíthető mérési eredményekre alapozva mondták ki. Természetesen az oktatás folyamatában nincs lehetőség és idő minden mérés bemutatására, de néhány egyszerűbb esetben mindenképpen érdemes ezt megtenni.

Szeretnénk kihangsúlyozni, hogy **fizikát tanítani kísérletek nélkül nem lehet. Még** ha lehetne is, nem érdemes. Ezt manapság nem mindenki tudja betartani, rengeteg helyen hallani, hogy a tanárok alig kísérleteznek, és sajnos ez érthető. A tanároknak sok órája van, ami mellé a kísérletek előkészítése komoly terhet ró a fizikatanárokra. Semmi esetre sem gondoljuk, hogy minden órán végig kísérletezni kell, viszont minden órán lehet egy-egy egyszerű demonstrációt, vagy mérést bemutatni.

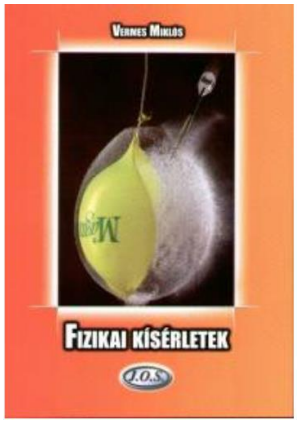
2. Irodalmi áttekintés

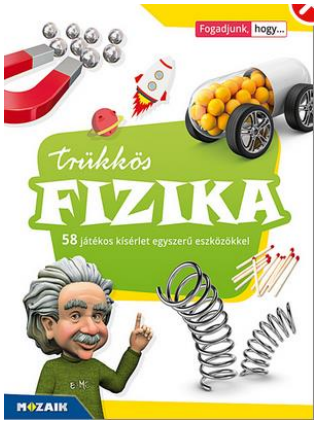
Rendkívül sok kísérletgyűjtemény jelent meg az elmúlt évtizedekben és szerencsére folyamatosan jelennek meg újak is. Ezek legtöbbje egyszerű, otthoni kísérleteket ír le. Minden mai kísérleti könyv ősének az Öveges József által írt könyvsorozatok tekinthetők. Klasszikus Öveges könyvek kiadásait mutatják a következő képek.

Az Öveges könyvek időállóságát mutatja, hogy a klasszikus könyveket időről-időre átszerkesztik és újra kiadják. Így született 2008 körül a következő képeken látható könyvsorozat

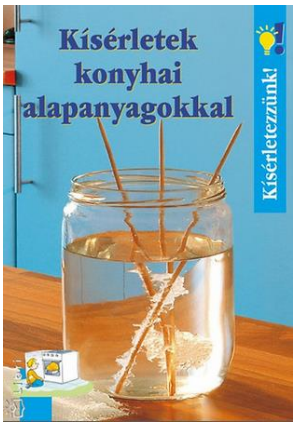
Természetesen más szerzők tollából is születtek kísérletgyűjtemények hasonló szemlélettel. A teljesség igénye nélkül kiemelnénk Vermes Miklós Fizikai kísérletek könyvét, mely sok egyéni, nem csak házi eszközös kísérletet tartalmaz. Figyelemre méltó Zátonyi Sándor

tankönyvkiegészítésnek szánt Fizikai kísérletek környezetünk tárgyaival című könyve. A szerző kisiskolások számára szánt könyve bár nem mai, de egy nagyon érdekes koncepcióval megírt munka, mely segítheti a diákokat az otthoni kísérletezésben, az érdeklődésük felkeltésében. Az egyik legújabb kiadású kísérleti válogatás a Stonawski Tamás tollából megszületett Trükkös fizika, mely nagyon gazdagon illusztrált, modern kinézetű könyv. Klasszikus házi eszközös kísérleteket tartalmaz új formában.





Egy szintén modernebb kiadás a „Kísérletezzünk” könyvsorozat. Ezeknél a könyveknél a szerzők (Pataki Attila, dr. Nagymáté Emese, Ulrike Berger, Sonja Floto-Stammen, Zsiros László Róbert) szintén otthoni eszközökkel megvalósítható kísérletekre koncentrálnak.



Végül, de nem utolsó sorban említésre méltó a Juhász András szerkesztésében megjelent Fizikai kísérletek gyűjteménye 1-3. Ez a könyvsorozat ellentétben a többivel nem koncentrál a házi eszközös kísérletekre. A három kötet a kb. 1500 oldalas terjedelmével a teljességre törekszik. Egyaránt helyet kaptak benne az egyszerű eszközökkel megvalósítható kísérletek, a klasszikus taneszközökkel elvégezhető kísérletek, valamint az összetett céleszközöket igénylő kísérletek. Ezek a könyvek leginkább kísérletleírásokat tartalmaznak, magyarázatok csak néhány helyen található bennük.

Természetesen a kísérletek legnagyobb tárháza az internet. Naponta jelennek meg új kísérleti videók, leírások, szakanyagok. A túlkínálatból nehéz is kiválasztani az igazán értékeset. A hazai internetes forrásokból 4-et ajánlunk az olvasó figyelmébe:

1) Az atomoktól a csillagokig előadássorozat archívumában rengeteg kísérleti bemutató látható. Ezeket egyetemi oktatók, doktoranduszok, a régebbieket a Csodák Palotája demonstrátorai adják elő. Az oldalon található egy lista, mely felsorolja a bemutatott kísérleteket.
2) Piláth Károly weboldala folyamatosan frissülő tartalommal várja a programozható kütyükkel történő kísérletezés irányt érdeklődőket. Ezt az oldalt azért figyelemre méltó, mert az Arduino, Micro:bit, MyDAQ, stb eszközökre összeállított kísérletekben hiányos a magyar szakirodalom.
3) Természettudományos tananyagok honlap kémia, biológia és fizika tantárgyakra is kínál segédanyagokat. A filmtárában található kísérleti videók jó minőségűek és lefedik a fizika több területét.
4) A demonstrációs labor honlapja szintén több kísérleti videót tartalmaz. Ez az oldal leginkább az ELTE hallgatók munkáit mutatja be, valamint hiányokat pótol. Ilyenek például a videoelemzésre alkalmas kísérleti felvételek, vagy a speciális eszközöket igénylő, összetettebb kísérletek.

A kísérletek fizikai háttere iránt érdeklődők számára érdekes lehet, hogy a Budó sorozat könyvei az interneten elérhetőek:

- Budó Ágoston: Kísérleti fizika I.
- Budó Ágoston: Kísérleti fizika II.
- Budó - Mátrai - Hornyák: Kísérleti fizika III.

3. Jó gyakorlatok a kísérletezésben

Ebben a fejezetben a kísérletezéshez kapcsolódó gyakorlati tanácsainkat soroljuk fel és fejtjük ki. Nem törekszünk a teljességre. Azokat helyezzük előtérbe, amelyek visszatérő problémaként jelentkeznek a mikro- és vizsgatanítások során, ezért fontosnak érezzük, hogy írásban is eljussanak hallgatóinkhoz.

A. Kísérlet-elmélet sorrend

Gyakran felmerül a kérdés: mivel érdemes kezdeni: a kísérlettel, vagy az azt magyarázó elmélet körüljárásával? Erre nincsen mindig követhető recept. Attól függ, hogy mi a célja a kísérletnek. Példaként gondolhatunk a Galilei-lejtős kísérletre. Egyaránt jó lehet a négyzetes úttörvény bevezetésére, de alkalmas a már megtárgyalt törvény kísérleti bizonyítására. Ha az elmélettel kezdünk, akkor a kísérlet során könnyebb az elemzés (van mire hivatkozni), de az önálló felfedezés (saját hipotézisalkotás) lehetőségét elvesszük a diákoktól. Erre nincs királyi út! Mindenki a magához illőt választhatja.

Általánosságban viszont elmondható, hogy nehezebb elméleti háttérrel rendelkező és/vagy komolyabb technikai hátteret igénylő kísérleteknél az elmélettel érdemes kezdeni. Példaként említhetjük a fotoeffektus jelenségének demonstrálását. Elméleti bevezetés nélkül nincs a diáknak esélye megalapozott hipotézist alkotni. A történelmi bevezetés és elmélet ismeretében is éppen elég nehéz megmondani, hogy a cink lemez veszít-e a negatív töltéséből.

Ugyanakkor, ha a kísérlettel, a jelenség bemutatásával kezdünk, felkelthetjük diákjaink érdeklődését, kíváncsiságát. Beindulhat gondolkodásuk, ötletelhetnek, vitatkozhatnak egymással a lehetséges magyarázatokról.

B. Mindig tudjuk a kísérletek célját!

A kísérletbemutatásnak mindig van célja és nagyon fontos ennek megfogalmazása (a tanárnak saját magának mindenképpen). A cél meghatározza, hogy mit és milyen mélységben akarunk elmondani. Példaként említhetjük a mágneses tér áramra gyakorolt hatásának bemutatására szolgáló demonstrációt. A kísérletet pusztán azzal a céllal is bemutathatjuk, hogy megmutassuk, hogy áramjárta vezetékre mágneses térben erő hat (Oersted-kísérlet párjaként), de az áramerősséget és mágneses teret változtatva, az áramirányt megfordítva, akár a Lorentz-erő mennyiségi bevezetésre is szolgálhat. A célnak is megfelelően kell a tapasztalatok és magyarázatok mélységét megválasztani.

C. Táblai dokumentáció megtervezése, gondolatmenet.

Elvégezhetünk egy kísérletet tökéletesen és látványosan, de ha nem dokumentáljuk megfelelően a táblán, akkor a fizikatanítási célokat nem szolgálja tökéletesen. A táblai rajz és vázlat megtervezése elsődleges fontosságú! Főleg a kezdeti években a tanárban is sokszor ezek készítése közben áll össze a lehető leglogikusabb felépítése a magyarázatnak. Fontos az is, hogy a diákok füzetébe (legfeljebb) az és annyi kerül, amit a tanár a táblára felír és felrajzol. Önálló

jegyzetelés nem elvárható. A füzetben lévő rajz jól segíti a tanulást, ugyanis vizuális ingert is biztosít. Egy jól elkészített ábra egyszerűsíti a megértést, kommunikációt.
A táblai dokumentációnál érdemes mindig hasonló struktúrára törekedni. Az általunk ajánlott forma:

1) **Leírás és rajz.** A rajznál érdemes a pontosságra törekedni, de a technikai részletek ne szerepeljenek túl nagy hangsúllyal. Például, ha egy Bunsen-állványra rögzítettük az ingát, melynek a lengését vizsgáljuk, akkor nem fontos az állvány lerajzolása, elég annak ábrázolása, hogy az inga fel van függesztve. Ha egy optika kísérletnél a célunk egy folytonos spektrum vetítése és létrejöttének magyarázata, akkor felesleges felrajzolni a lámpát, a kondenzort, a rést és a vetítőlencsét, mert az csak a párhuzamos nyaláb előállítását szolgálja. Elegendő egy vonallal jelezni, hogy párhuzamos nyalábot ejtünk a prizmára.

A rajznál ne valósághű ábrák készítésére törekedjünk, hanem sokkal inkább vázlatos, kifejező, egyszerűsített formákat használjunk!

A rajz azért is fontos, mert készítésének folyamata során újra elmagyarázhatjuk a kísérlet felépítését, kihangsúlyozhatjuk a lényeges pontokat, bemutathatjuk a felépítés logikáját. Ezért nem is szabad előre készíteni ábrát (pl. szünetben), vagy fényképet megosztani a diákokkal a mérési elrendezésről. Ebben az esetben, ha pontosan látják is mivel lett a kísérlet elvégezve, nem értik a logikáját. A fénykép azért sem praktikus, mert nem lehet rajta a lényes elemeket kihangsúlyozni. Az ábrán minden eszközt meg kell nevezni, legjobb rányilazni az ábrára mi micsoda. A rajz mellett vázlatpontokban szövegesen is mindenképpen le kell írni a kísérlet elvégzésének lépéseit. Olyan szintű leírás kell, melyből reprodukálni lehetne a kísérletet. A kísérlet gondos leírása nélkül nem lehet a tapasztalatot és a magyarázatot értelmezni!

2) **Tapasztalat.** Ennél a résznél egy egyszerű mondatban, vagy vázlatpontokba szedve írjuk le, hogy érzékszervekkel és/vagy műszerekkel mit érzékelünk/mérünk? Természetesen a mérési feladatok tapasztalatai, a mért eredmények, kitöltött táblázatok is ide kerülnek, valamint később az adatok kiértékelése. Ide is kerülhet ábra, sőt, sokszor nagyon hasznos, ha folyamatábrát készítünk a tapasztalatokról.

Nagyon fontos, hogy sok kísérletben a tapasztalat hiánya a lényeges, tanulságos. Ám vigyázzunk, ez esetben a tapasztalat a „nem láttunk változást” és nem pedig a „nem történt semmi”, ez utóbbi ugyanis már magyarázat. Akkor is történhetett változás, ha mi nem láttunk semmit, pl. ha túl nagy méréshatárra állítottuk az árammérőt a mozgási indukció vizsgálata során.

3) **Magyarázat.** Itt fizikai törvények alapján magyarázzuk a tapasztaltakat, a jelenségeket! A magyarázat során természetesen a leírás rajzát ki lehet egészíteni (például az erők berajzolásával). Nagyon fontos, hogy ezt a részt ne hagyjuk ki! Sokszor előfordul, hogy a diákcsoport életkora, vagy felkészültsége miatt nem tudunk a jelenség magyarázatát teljes körűen leírni (sőt középiskolában legtöbbször ez a helyzet), de mindenképpen törekednünk kell egy tapasztalatot leíró önmagában koherens magyarázatra. Fontos, hogy részleges, hiányos magyarázatot adhatunk a diákoknak, ha életkoruk, képességeik miatt teljeset nem lehet, de az egyszerűsítés érdekében hibás magyarázatot adni tilos!

Gondolhatunk itt például a Thomson-ágyús kísérletre. Klasszikus magyarázata, hogy Lenz-törvény értelmében a gyűrűben indukált áram iránya olyan, hogy mágneses hatásával akadályozza az őt létrehozó hatást. Tehát ellentétes a tekercs mágneses terével, így a taszítás miatt felrepül. A kísérletet azonban váltóárammal végezzük, így negyed periódusonként változik a tekercs és gyűrű között fellépő erő iránya, tehát átlagosan 0 erőnek kellene közöttük hatni. Ha utánaszámolunk, akkor kiderül, hogy a gyűrű induktivitása nagyon számít ebben a kísérletben, mert az eredményez egy fázistolást a gyűrű mágneses tere és a tekercs mágneses tere között, így lehet egy felfelé ható eredő erő. Természetesen ezzel a magyarázattal csak a tehetséggondozás keretei között foglalkozhatunk. Emellett az első, klasszikus magyarázat teljesen elfogadható középiskolai szinten, hiszen tényleg ezzel kapcsolatos a magyarázat még akkor is, ha nem teljes.

Opcionálisan a fenti három pont kiegészíthető a következőkkel:

i) Cél. A cél konkrét megfogalmazása segítheti a diákokat a kísérlet tananyagba ágyazásában. Érdemes megjegyezni, hogy ez gyakran majdnem azonos a kísérlet címének leírásával (Nehézségi gyorsulás mérése deszkás inga segítségével, Cél: A nehézségi gyorsulás értékének közelítő meghatározása). Olyan esetekben lehet funkciója a cél leírásának, mikor egy történelmi személyiségről van a kísérlet elnevezve. A Galilei-lejtő önmagában semmitmondó, de a „Galilei-lejtő. Cél: négyzetes úttörvény szemléltetése" már beszédesebb.

ii) Hipotézis. A hipotézisalkotás nagyon fontos és minden kísérlet elvégzésénél érdemes a diákokkal megfogalmazni (lásd ezen fejezet K. pontja), azonban leírni a táblára nem feltétlenül kell. Leginkább kisiskolás korban érdemes a táblán ezt is rögzíteni és elemezni a teljesülését.

D. A magyarázat és a tapasztalat elkülönítése

Gyakran nehéz elkülöníteni a tapasztalatot és a magyarázatot. Sokszor ezt az is nehezíti, hogy bizonyos életkorokban tapasztalat szintű magyarázat adható csak. Vegyük példának folytonos spektrum előállítását egyszerű prizma segítségével. Gyakran hallható a következő magyarázat: A prizma színekre bontja a beérkező fehér fényt. Ez a tapasztalat: pontosan azt látjuk, hogy a beérkező fehér fényből színes sáv lesz. Magyarázat kisgyerekkorban tényleg hasonló: A fehér fény igazából összetett, melyet a prizma szét tud választani. Ez sem teljes magyarázat, mert nem indokolja, hogy a prizma miért tudja szétválasztani. Később előkerülhet erre magyarázatként: a prizma a különböző színű (hullámhosszúságú) fényt eltérő mértékben téríti el, azaz más a törésmutatója a különböző színekre vonatkozóan. Igazából ez is egy tapasztalat! Pontosan azt látjuk, hogy az ibolyát jobban eltéríti, a vöröset kevésbé, tehát más a vörös és az ibolyaszínre vonatkozó törésmutatója. A magyarázathoz meg kell értenünk, hogy a különböző hullámhosszúságú fény terjedési sebessége más a különböző közegekben és a más terjedési sebesség miatt más irányba térül el. Az irány megértéséhez szükséges a Fermat-elv, és folytathatnánk tovább a sort… A kísérlet a jéghegy csúcsa, és az oktatásunkban meg kell találnunk azt a mélységet, ameddig elmehetünk a „miért?" keresésében.

E. Interaktivitás

A tanulói kísérletekben és a kísérletekre épülő projektfeladatokban egyértelmű a tanulói aktivitás fontossága, azonban demonstrációs kísérletek során sem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a hallgatóságot tevékenyen be lehet vonni. A diákokra lehet bízni az egyszerű kísérleti eszközök kezelését, a műszerek leolvasását, a táblai dokumentáció készítését, így a tanár ellenőrző szerepben irányítja a munkát. Ennek lehetséges előnye, hogy a diákok jobban figyelnek, hiszen társaikat láthatják (a bevont diákok számára megtisztelő), de természetesen ez általában több időbe kerül, hiszen a diákokat pontos utasításokkal irányítanunk kell, bizonytalanabbul kezelik a műszereket, stb. Problémás lehet, hogy a közreműködő diákok lemaradnak a saját füzetükbe való jegyzeteléssel.
Természetesen nem lehet mindig mindenkit bevonni, de érdemes erre törekedni. Egy egyszerű módszer, hogy az egész csoportot aktivizáljuk, ha egymás után minden diák megcsinál egy lépést a kísérletből vagy sorozatmérésnél egymás után következnek. Ha előre bejelentjük, hogy mindenkire sor fog kerülni, akkor garantáltan mindenki oda fog figyelni, mi történik előtte. Gondolhatunk itt például az Ohm-törvény kimérésére, ahol minden diákra rá lehet bízni a feszültség növelését, és az adott feszültséghez tartozó áramerősség leolvasását. Fontos megjegyezni, hogy a tanár végezze el a kísérletet, ha az veszélyes (pl. veszélyes vegyszereket szükségesek, nagy hővel jár, nagy feszültség szükséges stb.) és/vagy ha speciális eszközöket (drága mérőműszer, nagyméretű üvegeszköz) igényel. A kísérlet bemutatása közben hívjuk fel a gyerekek figyelmét a veszélyforrásokra. Ha a tanár épsége, vagy egy drága műszer veszélyben forog, akkor biztosan figyelni fognak a diákok.

F. Jól kérdezni

Figyeljünk oda, hogy a diáknak csak olyan kérdést fogalmazzunk meg, amit meg kell tudniuk válaszolni. Ne tegyünk fel túl általános kérdést, hogy a diáknak még azt is meg kelljen fejtenie, vajon mire is kíváncsi a tanár. Bonyolult, összetett kérdések esetén lépésenként haladjunk. Például a szomjas kacsa játék esetén: nem érdemes kezdetben azt kérdezni, hogy miért kúszik fel a kacsa alsó tartályából a víz a felsőbe, mert ahhoz több lépés kell. Rávezetésként kérdezhetjük a következőket:

- Mi történik a kacsa fején lévő vízzel, mikor kikerül a pohárból? (Párologni kezd)
- A kacsa fejében lévő gáz hőmérséklete ennek hatására hogyan változik? (Csökken)
- Ekkor a nyomása hogyan változik? (Csökken)

Ezután már elérkezhetünk annak megfogalmazásához, hogy a nyomáskülönbség miatt az alsó tartályban lévő levegő nyomja fel a vizet a felsőbe. Nagyon fontos, hogy ha tudjuk, hogy megválaszolható kérdést tettünk fel, de nincs jelentkező a megválaszolására, akkor nyugodtan szólítsunk fel valakit. Sokszor előfordul, hogy tanárjelöltek hosszú ideig várnak, kérlelik a hallgatóságot, hogy válaszoljon végre valaki. Ehelyett érdemes egy konkrét nevet mondani és várni a választ.

G. Demonstrációs mérőkísérletek

A demonstrációs mérőkísérletek az 1-es fejezetben leírtaknak megfelelően nagyon fontosak. Ezeknél a gondos tervezés elsődleges. Meg kell tervezni a műszerek láthatóságát, a diákok bevonását, az eredmények rögzítését és kiértékelését és természetesen tudnunk kell, hogy pontosan milyen eredményre számítunk, tehát próbamérést is kell végeznünk. Ha a diákok kezébe adunk eszközöket, akkor győződjünk meg előtte róla, hogy helyesen és balesetmentesen tudják használni. Ha bonyolultabb (esetleg veszélyesebb) mérésről, vagy eszközről van szó, akkor jobb, ha a tanár egyedül végzi.

A mérések egy nehézsége, hogy még középiskolában sem számolunk általában hibát. Ennek hiányában nehéz eldönteni, hogy például a nehézségi gyorsulásra mért 9,5 m/s^2 jónak számít-e? Érdemes a hibaforrásokat mindig megbeszélni, de ha nincs lehetőségünk számszerűsíteni a hibát, akkor ökölszabályként mondhatjuk, hogy ha a mért és a számolt (vagy irodalmi) érték eltérése, a számolt (vagy irodalmi) érték 10%-át nem haladja meg vagy nagyságrendileg helyes az eredményünk (pl. Avogadro-állandó mérése, molekulaméret meghatározása stb.), akkor az jó mérésnek számít (persze tanórai körülmények között).

Általános iskolában kiemelten nehéz ennek az elfogadtatása. Ott sokszor még a 3. értékesjegyben való eltérés is szemet szúr a diákoknak és meg vannak győződve róla, hogy mérési eredményünk rossz. Méréseink során ki kell alakítanunk azt a szemléletet, hogy fizikai mérésekből nem kapható egy fizikai paraméter tökéletesen pontos (egzakt) értéke. Mindig egy intervallumot adhatunk csak meg, melynek nagyságát az adott mérési módszer, illetve mérőeszköz hibája határozza meg. A mérőmódszer fejleszthető, ezáltal a hiba csökkenthető, így közelítünk az irodalmi adathoz, ami szintén nem egy konkrét szám, hanem egy intervallum. Ennek nehéz elfogadhatóságát az adja, hogy a diákok a négyjegyű függvénytáblázatban konkrét számokat látnak, nincs feltüntetve az értékek hibája. Ez persze bizonyos fokig érthető, hiszen a nagyon pontos mérési módszereknek köszönhetően ez a hiba a legtöbb anyagi paraméter esetében már olyan kicsi, hogy nem érdemes feltüntetni, de fontos tudni, hogy van bizonytalanság minden értékben. Érdemes a diákoknak néhány egyszerű példán keresztül szemléltetni a leolvasás pontosságának jelentőségét.

H. Számológép használata

A tanórán és kifejezetten a demonstrációs mérőkísérletek bemutatása során gyakran előfordul, hogy számológép használatára van szükség a kiértékelés során. Ez sok zavart szokott okozni a tanórán. A tanárnál sokszor nincs gép, a diákok segítségét kéri, de kifejezett felszólítás nélkül általában nem lehet értelmes (idő alatt) választ kapni. Érdemes a csoportot már a kezdetektől úgy trenírozni, hogy mindenki próbálja a saját számológépén kiszámolni a felmerülő feladatot. Emellett fontos lenne, hogy a tanár is saját gépén ellenőrizze az eredményt (megjegyezzük, hogy természetesen előzetesen a tanárnak már tudnia kell az eredményt nagyságrendileg, hogy a diákoktól kapott nyilvánvalóan rossz válaszokat kiszűrhesse). Az idők során a diákok közül kiválasztásra kerülhet valaki, aki stabilan és jól számol, így gyors eredmény tőle mindig várható, emellett fenn kell tartani, hogy mindenki minden feladatnál használja a saját számológépét.

I. Számítógépes mérések és demonstrációk

A számítógép rengeteg mérésre és demonstrációs kísérletre nyújt lehetőséget.

Mérőkísérletek esetén pedagógiai szempontból a leggyakoribb hiba a számítógépek alkalmazásában, hogy sokszor teljesen átveszik a kísérletező szerepét. Elvégzik automatikusan a kísérletet, felveszik a mérési adatpontokat és utána még ki is értékelik. Néhány esetben még az összeállítás sem a diák, vagy a tanár dolga, mert előre gyártott céleszközök állnak rendelkezésre. Mérőkísérleteknél nagyon fontos, hogy a diák a számítógép bevonása előtt „kézzel" is elvégezzen hasonló mérést! Például Tracker program segítségével mozgásokat tudunk elemezni. Használata során a kísérletet filmre vesszük, utána egyszerűen megjelöljük a test helyét a képkockákon és a program kidobja a hely-idő, sebesség-idő és gyorsulás-idő grafikonokat. Ha a diák előtte nem alkotott meg egyedül (vonalzóval és stopperrel) egy hely-idő grafikont, akkor nem fogja tudni, mit csinál a program. Ezáltal a lényeget, az eredmény kiértékelését nem fogja érteni. Hasonlóan, a modern adatgyűjtők a szenzoraikkal nagyon sok fizikai paramétert tudnak mérni az idő függvényében. Azonban, ha a diák nem használta saját kezűleg a mérőeszközöket, akkor nehezen fogja tudni értelmezni az eredményeket. A mérőprogramok használata persze fontos a fizikaórákon, hiszen olyan esetekben, amikor kézzel már nem lehet mérni, akkor ezek gyors és látványos eredményre vezetnek. Gyorsaságukat viszont csak akkor lehet kihasználni, ha a diák érti a működésüket, így gondos előkészítést igényelnek.

A számítógépes demonstrációk legnagyobbrészt videóra rögzített kísérletek bemutatását jelentik. Természetesen, ha a tanár túlterheltsége, vagy a szertár állapota nem engedi az élő kísérletezést, akkor ez is jobb, mint a semmi. Gondos válogatás, mérlegelés szükséges ahhoz, hogy megtaláljuk azt a videót, ami a tanórán bemutatható. Manapság szerencsére rengeteg jó minőségű film érhető el az interneten. Ebbe a kategóriába tartoznak azok a felvételek, melyek egy jelenséghez kapcsolódó technikai alkalmazást, természeti jelenséget, vagy vicces bakit mutatnak be. Ezeket osztálytermi körülmények között nehéz bemutatni, de szemléletesek és/vagy mókásak (ezért a jegyzetben is sok ilyen példát hozunk).

J. Szavazás

A tanulói aktivitást növeli a szavazás is. Megszavaztathatjuk pl. egy kísérlet kimenetelére vonatkozó hipotézis-alternatívákat. Szavazás előtt a diákok természetesen érveljenek saját magyarázatuk mellett és a többieké ellen! A vitával és a szavazással a diákok érdekelté válnak a kísérlet kimenetelében, ezáltal jobban figyelhetnek.

Előfordulhat, hogy a diákok egymást lesik a válaszadáskor és mindig együtt szavaznak a legokosabbal. Ennek kivédésére alkalmazható a számolásra történő azonos idejű szavazás. Érdemes megjegyezni, hogy jelentkezéssel nemcsak két lehetőségünk van (jobb, vagy bal), lehet nem jelentkezni és két kézzel jelentkezni is, így egyszerű lebonyolítani például az egyik, másik, mindkettő, egyik sem jellegű szavazásokat.

A szavazás sose legyen öncélú! Nem azért szavazunk, hogy legyen egy szavazás, hanem tudatosítani szeretnénk a diákokban hogy az önálló gondolkodás és véleménynyilvánítás fontos. Ennek megfelelően a szavazás mellett érdemes rákérdeznünk arra is, hogy ki miért szavazott

úgy. Az indoklást követően újra lehet szavazni, megkérdezni kit győzött meg, kinek van ellenvéleménye, stb. A tanár is irányíthatja a véleményalkotást, új szempontok megadásával, vagy ha felhívja a diákok figyelmét új tapasztalatokra. Indokolt esetben nagyon tanulságos lehet, ha a tanár szándékosan vezeti félre a diákokat, így sokkal nagyobb lehet a megdöbbenés. Ez esetben azonban vigyázzunk, hogy végül a diákokban a helyes magyarázat rögzüljön!

A szavazást lebonyolíthatjuk természetesen mobiltelefonon keresztül, például Kahoot! vagy más internetes felületek segítségével. Ennek már csak az eszközök elérhetősége és a tanár, illetve a diákok felkészültsége szabhat gátat.

K. Hipotézisalkotás

Minden kísérletnél érdemes a diákok véleményét meghallgatni a kísérlet kimenetelével kapcsolatban. Azzal, hogy elméletet alkotnak, érdekessé is válik a kísérlet lefolyása. Fontos, hogy hipotézisalkotás előtt a diákok alaposan megismerjék a kísérleti összeállítást, valamint azt, hogy pontosan mit fogunk csinálni. Sokszor előfordul a mikrotanítások során, hogy a hallgató minimális információ közlése után megkérdezi a hallgatóságot: „Szerintetek mi fog történni?”. Ettől a kérdéstől tartózkodni kell, mert nagyon sok (legtöbbször vicces és időrabló) válasz lehetséges. Érdemes specifikálni: Mit fogunk látni az árammérőn? Hogyan változik a feszültség nagysága, ha növelem az ellenállás nagyságát? Először mindig fogalmazzuk meg magunknak, hogy milyen választ várunk és utána lehet a megfelelő kérdésen gondolkozni, ami ebbe az irányba tereli a hallgatóság gondolkodását.

L. Történelmi bevezetés, technikai alkalmazások, természeti jelenségek

A diákok többségének érdeklődését fel lehet kelteni egy kísérlet kapcsán, ha hangsúlyozzuk a történelmi jelentőségét, természeti jelenséghez való kötődését, vagy a mindennapi hasznosságát! Ez hatványozottan igaz humán érdeklődésű diákok esetén. Mindenképpen törekednünk kell, hogy egy kísérlet ne legyen öncélú! Meg kell találnunk azokat a kapcsolódási pontokat, mellyel a diákok fontosnak, saját életüket is meghatározónak érzik a kísérlet megértését.

N. Egyszerű üzenetek megfogalmazása

A diákok többségének nehézséget jelent egy törvény értelmezése. Példaként említjük a Boyle – Mariotte törvényt: „ideális gáznál állandó anyagmennyiség és hőmérséklet esetén, a térfogat és a nyomás fordított arányosságban áll egymással”. A törvényt természetesen meg kell pontosan fogalmazni, de utána egyszerű üzenetek is levonhatók. Ezek lehetnek

- minél-annál típusú kijelentések: „tehát a törvény azt jelenti, hogy minél nagyobb a térfogat, annál kisebb a nyomás”; „minél kisebb a nyomás annál nagyobb a gáz térfogata”, stb.
- ha változik az egyik paraméter, akkor hogyan változik valamelyik másik: „ha csökken a térfogat, akkor nő a nyomás”.

Természetesen ezek a kijelentések általában gyengébbek, hiányosabbak, mint a valós törvények, hiszen ezek segítségével egy egyenes arányosság, vagy exponenciális kapcsolat nem kifejezhető, de a folyamatok irányát megadják és fontos, hogy ez rögzüljön.

M. Gondos előkészület és a rend fenntartása

A kísérletezés csak akkor hatékony, és éri el a második fejezetben leírt célokat, ha a kísérletek működnek. Régi vicc: „A kémia kísérletek azok, amik büdösek. A fizika kísérletek azok, amik nem működnek.” A fizika oldaláról a vicc háttere egyértelmű: ha nem készítünk gondosan elő egy kísérletet, akkor valami biztosan elromlik. Ez még akkor is előfordul, ha előző nap állítottuk össze az elrendezést és ki is próbáltuk a kísérletet. Közvetlen a bemutatás előtt is mindenképpen röviden ki kell próbálni! Ha nem működik, akkor nem érdemes bevinni, maximum mutathatjuk, hogy ezt a kísérletet jövő órán fogjuk bepótolni, mert valami baj van. Ezzel az érdeklődésüket nem veszítjük el! Ha mégsem jön össze valami, akkor legyünk lazák és lépjünk túl (ha nem látjuk rögtön a megoldást, akkor nem érdemes időt tölteni). Ha a diákok nevetnek az legtöbb esetben jó nekünk. Látszik, hogy figyelnek és legközelebb valószínűleg jobban fognak. Természetesen, az már nem elfogadható, ha egy tanárnak soha nem sikerül egy kísérlet sem. Egy-egy baki vagy hiba akár a tanár iránti rokonszenvet is növelheti a diákokban, de a sorozatos sikertelenség hiteltelenséget, tekintélyvesztést eredményez.

Természetesen vannak esetek, amikor a kísérlet nem technikai, hanem fizikai okok miatt nem működik. Az elektrosztatika témakörében sokszor problémát jelent a magas páratartalom. Ilyenkor az eszközök hamar elvesztik töltésüket, amitől a jelenségek nem látszanak, vagy éppen fordítva viselkednek. Példa lehet a fordított viselkedésre a töltések közötti erőhatás demonstrálása. Ebben az esetben gyakran előfordul, hogy látszólag az azonos töltésű rudak is vonzzák egymást. Ennek oka, hogy párás időben az egyik rúd hamar elveszteti töltését (általában az, amit a tűcsapágyra rakunk). Ekkor a másik töltött test megosztás révén vonzani fogja a semleges rudat.

Mint ez a példa is mutatja, előfordulhat, hogy egy kísérlet gondos előkészítés ellenére is nem várt eredménnyel jár. Ez sokszor megzavarja a tanárt is, ezért fel kell készülni, hogy megtaláljuk az esetleges fizikai problémákat is, és a diákoknak meg tudjuk magyarázni a furcsa, nem várt tapasztalatot. Természetesen, ha a tanóra idejébe belefér, addig próbálkozzunk, amíg nem sikerül tökéletesen a kísérlet.

A demonstrációs kísérleteknél alapkövetelmény a láthatóság, erre a kísérletek összeállításakor nagyon figyeljünk! Használjunk nagyméretű eszközöket, alkalmazzunk emelvényt, hívjuk közelebb a diákokat (ha a kísérlet veszélytelen). Ha egy kísérlet kicsi elemekből áll, vagy a jelenség kis méretben valósul meg, akkor manapság mobiltelefonról is egyszerűen kivetíthető, vagy egy webkamera beállítása is egyszerű.

Nagyon fontos továbbá a szertárban a rend fenntartása. Az eszközöknek legyen kijelölt helye (pl. a témakörönként feliratozott szekrényekben, polcokon) és használat után mindent a helyére kell visszatenni. Ennek hiányában a legtöbb időt az eszközök összeszedése fogja felemészteni, illetve fennáll a veszélye, hogy az eszközök leesnek, eltörnek. Mivel az iskoláknak általában

nincs anyagi lehetőségük szertárfejlesztésre és az eszközök pótlására, a felelőtlenség nagy károkat tud okozni!

Kísérletezéskor gyakran előfordul, hogy valami tönkremegy, lemerül az elem, elfogy a vegyszer stb. Ezt mindig a bekövetkezése után egyből kell megoldani, egyébként elfelejtődik és akkor okoz problémát, mikor valaki azt a kísérletet szeretné bemutatni.

A szertár rendjének fenntartása azért is fontos, hogy a kollégákra tekintettel legyünk. Sok iskolában általában nemcsak egy fizikatanár dolgozik, kísérletezik. Egymás munkáját is segítjük, ha az eszközöket a helyükön tároljuk, a javításokat, pótlásokat elvégezzük. Ezáltal hozzájárulunk a jó munkaközösségi légkör kialakításához, fenntartásához.

O. Balesetvédelem

Balesetvédelemről hosszan lehet olvasni a Fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet egyetemi jegyzet 746-748. oldalán. Azt nem szeretnénk megismételni. Három alapszabályt érdemes kihangsúlyozni:

1) ***Csak olyan kísérletet szabad elvégezni, melyet magabiztosan ismerünk.*** Azaz tudnunk kell, hogy mit, miért és hogyan kell csinálni. Ha bizonytalanok vagyunk az eszközök működésében, vagy a kísérlet lefolyásában, akkor inkább hagyjuk ki, illetve nézzünk utána, kérjünk segítséget tapasztalt kollégától. Különben az ilyen kísérletek elvégzése egyrészről veszélyes, másrészről nem is szolgál fizikatanítási célokat. Ilyen esetekben a technikai részletekkel több idő megy el, mint a fizikai tapasztalatok elemzésével.
2) ***Sohasem szabad rögtönözni!*** A diákok gyakran kérik a tanárt a kísérlet megismétlésére megváltoztatott paraméterekkel. Általánosan elmondható, hogy sikeres kísérletet csak abban esetben ismétlünk, ha egyszerű és rövid, és a kísérletet más beállításokkal megismételni is csak akkor érdemes és szabad, ha biztosan tudjuk a kimenetelt. Például az „emeltyűs pirométer” esetén sokszor az alkohol teljes elégése után sem látszik igazán a különbség a két rúd hőtágulása között. Ekkor a diákok ösztönözhetik az oktatót, hogy töltsön utána az alkoholnak. Ekkor azonban a forró fémtálka belobbanthatja az alkohol gőzét öntés közben, mely nagyon veszélyes. A tanárnak tudnia kell, hogy ilyenkor nem szabad a diákokra hallgatni.
3) ***A szaktanár csak egyszerű és biztonságos kísérleteket bízhat diákjaira, és a kísérletek iskolai végrehajtásánál jelen kell lennie.*** Ilyen esetben a diákoknak pontos utasításokat kell adnunk, és azok végrehajtás előtt meg kell győződnünk róla, hogy megértették, mi lesz a feladat. A szabály második fele inkább a diákkísérletek esetén releváns, de a demonstrációs kísérleteknél is fontos, hogy a diákokra inkább az egyszerű és veszélytelen részfeladatokat bízzuk.

Szerencsére a kísérletek legnagyobb része veszély nélkül elvégezhető! Merjünk kísérletezni!

Fontos, hogy tanulókísérletek elvégeztetése előtt a diákoknak rövid balesetvédelmi tájékoztatást kell adnunk!

4. Kísérletek leírásának szerkezete a jegyzetben

Ebben a jegyzetben a kísérletek leírásai azonos szerkezetben szerepelnek a könnyebb feldolgozhatóság érdekben, mely a következő:

A kísérlet célja

Ebben a részben röviden és tömören megadjuk a kísérlet célját, hogy az oktatás folyamatába könnyebben be lehessen illeszteni. Természetesen más célokkal is fel lehet használni a kísérletet (pl. egy mérőkísérlet leegyszerűsítve tökéletesen alkalmas demonstrációs célokra). A mi megfogalmazásunk mindig az adott leírásra vonatkozik.

Szükséges anyagok, eszközök

Itt felsoroljuk a szükséges eszközöket, vegyszereket Igyekszünk általános leírást adni, hogy a tanár a saját szertárában is megtalálja az eszközöket. Az összeállított kísérletről legtöbb esetben vannak fényképek is, ezeken természetesen a demonstrációs labor eszközei láthatók.

Leírás

A leírás tartalmazza a kísérlet összeállítására és elvégzésére vonatkozó utasításokat. Mivel a jegyzet alapját a labor mérési leírásai adják, ezért ez a fejezet nagyon részletesen megadja a szükséges előkészületeket, a bemutatás folyamatát, valamint felhívja a figyelmet az esetleges veszélyforrásokra. Sok esetben még a használandó mérőeszköz is bemutatásra kerül.

Feladatok

Külön „feladatok” fejezetet csak akkor tartalmaz a leírás, ha több egymásra épülő lépésből áll a kísérletbemutatás, illetve mérés. Ekkor érdemes követni a felvázolt sorrendet.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

Itt olvashatók a diákoknak feltehető, általunk javasolt kérdések és feladatok: a kísérlethez tartozó érdekességek, számolások, gondolkodtató feladatok.

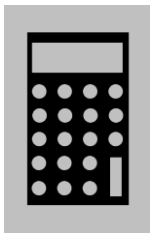
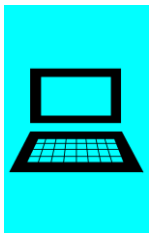
Módszertani kiegészítések

Ebben a fejezetben sokféle tartalmat adunk meg kiegészítésként:

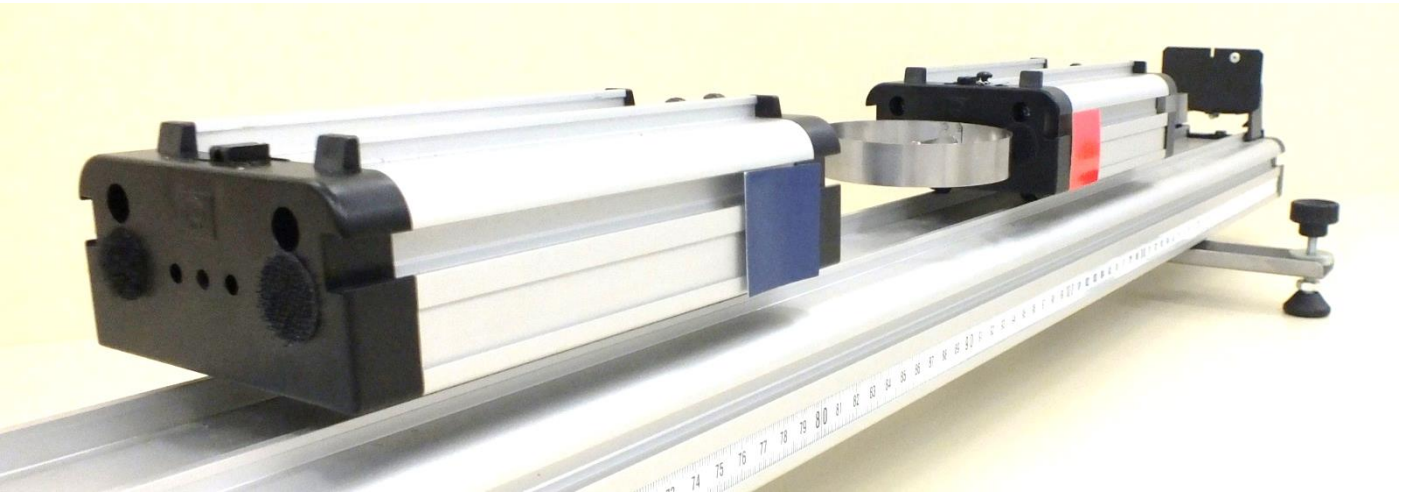
- Tippek és trükkök, hogy mire érdemes odafigyelni a kísérlet bemutatásakor
- Házilag hogyan lehet megvalósítani az adott kísérletet
- Elméleti kiegészítések
- A kísérlethez tartozó jó gyakorlatok (történelmi kitekintés, technikai alkalmazás, poénok stb.)
- Videós kiegészítések (vicces és/vagy tanulságos videók, saját készítésű oktatóvideók)

Külön oldalra került minden kísérlet, hogy könnyebb legyen nyomtatni a tanórai (esetleg diákkísérleti) felhasználáshoz.

A kísérleteket kategóriákba is soroltuk, hogy egyszerűbb legyen kiválasztani a számunkra legalkalmasabbat.

				
Otthoni, házi eszközös kísérlet	Veszélyes, fokozott óvatosságot igénylő kísérlet	Mérőkísérlet	Számítógépes kísérlet	Speciális eszközt igénylő kísérlet

Amely kísérletnél nincs jelzés, ott általános laboreszközök (kiskocsi, rugós erőmérő, V/A mérő, lámpa, stb.) szükségesek csupán.



5. Mechanika

5.1. Egyenes vonalú egyenletes mozgás megfigyelése ún. Mikola-csővel

A kísérlet célja

Az egyenes vonalú egyenletes mozgás bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- Mikola-cső
- kréta
- metronóm
- stopper (ill. saját telefon)
- mérőszalag vagy vonalzó

Leírás

A Mikola-cső egy kb. 1 m hosszú, 1 cm átmérőjű cső, amely általában vízzel van feltöltve úgy, hogy legyen benne egy néhány cm-es buborék. A cső Bunsen-állványhoz van rögzítve; dőlésszöge forgatással változtatható. A döntés szögének beállítását szögmérő segíti. A Mikola-csőben a buborék egy adott dőlésszög esetén egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, így a Mikola-cső az egyenes vonalú egyenletes mozgás bemutatására kiválóan alkalmas.

Az egyenes vonalú egyenletes mozgás demonstrálására a következő két lehetőség adódik:

- Állítsuk be a metronómot úgy, hogy 1 másodperces periódusidővel kattogjon, majd állítsuk a Mikola-csövet 20°-os dőlésszögre! A metronóm kattanásaira jelöljük meg krétával a buborék elejének helyét a lécen. Legalább öt pontot vegyünk fel, majd mérjük meg az egyes szakaszok hosszát mérőszalaggal vagy vonalzóval!
- Osszuk fel a cső hosszúságát 4-5 egyforma hosszúságú szakaszra (pl. 15-15 cm), majd állítsuk a Mikola-csövet 20°-os dőlésszögre! Telefon stopperének ún. köridő funkcióját használva mérjük meg az egyes szakaszok megtételéhez szükséges időtartamokat!

Feladatok

- A mérési adatokat foglaljuk táblázatba, majd készítsük el a mozgás út-idő, sebesség-idő és gyorsulás-idő grafikonját a mért adatok alapján.
- Igazoljuk, hogy a buborék valóban egyenes vonalú egyenletes mozgást végez!
- Végezzük el a metronómos mérést 10°-os dőlésszögtől 90°-os dőlésszögig, 10°-os lépésekben! Ábrázoljuk a buborék sebességét a dőlésszög függvényében. Mit várunk, milyen alakú lesz a görbe?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Keressünk egyenes vonalú egyenletes mozgásra példákat a hétköznapokból!

Módszertani kiegészítések

- A Mikola-csöves kísérletet érdemes tanulói mérőkísérletként elvégeztetni a diákokkal, mivel technikailag egyszerű, de fontos mérési alapelvek taníthatók meg általa. Problémát egyedül az eszközhiány jelenthet, de könnyen és olcsón elkészíthető otthoni eszközökkel.

5.2. A mozgások függetlenségének bemutatása kalapácsos ejtőgéppel

A kísérlet célja

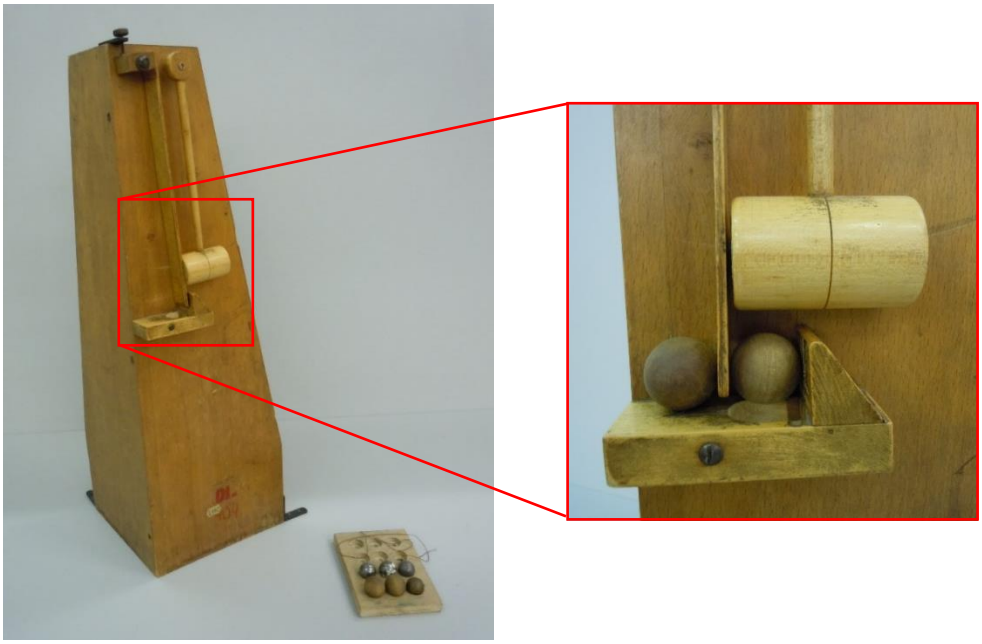
A vízszintes hajítás felfogható úgy, mint vízszintes irányba történő egyenletes mozgás és függőleges irányú szabadesés eredője

Szükséges anyagok, eszközök

- kalapácsos ejtőgép
- 2 db fagolyó

Leírás

Helyezzük a két fagolyót az ábra szerint a kalapácsos ejtőgépbe. Ekkor az egyik golyót a lemezrugó a nyílás fölé szorítja, a másik golyó pedig a vízszintes alátéten nyugszik, és a lemezrugó éppen érinti. Térítsük ki kissé a kalapácsot, majd elengedjük el, és figyeljük a két golyó földet érését jelző koppanás egyidejűségét!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen mozgást végez az egyik, illetve a másik golyó?
- Hogyan kapcsolható össze a mozgások függetlenségének elve Newton IV. törvényével?

Módszertani kiegészítések

- Elmélyíti a mozgások függetlenségének elvét, ha a kísérlet bemutatása után a kísérletben tapasztaltakat felhasználó feladatot is megoldunk.
- Manapság egyre elterjedtebbek azok a mobiltelefonok, melyek tudnak nagy sebességű (120 fps feletti) videofelvételt. Ha nekünk nincs ilyen, akkor érdemes a diákokat megkérdezni. A kísérletet gyors videóra véve nem csak „hallványos”, de nagyon látványos is a közös leérkezés.
- Extrém példák említése le tudja nyűgözni a diákokat ennél a kísérletnél. Például a kísérlet eredménye alapján egy pisztollyal vízszintesen ellőve a lövedék ugyanakkor ér földet, mint az melyet abban a pillanatban elejtünk azonos magasságból. Természetesen ez csak akkor igaz, ha a közegellenállástól és egyéb kisebb tényezőktől eltekintünk.

5.3. Lejtőn leguruló golyó mozgásának vizsgálata (Galilei-lejtő)

A kísérlet célja

Galilei történelmi kísérletének bemutatása; a négyzetes úttörvény szemléltetése, igazolása.

Szükséges anyagok, eszközök

- fémrúd (alumínium profil), középen végig vályúval, rajta jelölések 1, 4, 9, 16 hosszegységeknél
- acélgolyó
- stopper (vagy saját telefon)
- fahasáb alátétnek

Leírás

Emeljük meg néhány centiméterrel a sínnek azt a végét, melyen egymáshoz közel helyezkednek el a jelölések, majd a lejtő tetejéről indítva a golyót, mérjük meg, hogy mennyi idő alatt érkezik a golyó az egyes jelölésekhez. Ehhez használhatjuk a stopper köridő funkcióját. Ebben az esetben egy méréssel megkapjuk az összes adatot. Természetesen külön-külön is megmérhetjük a lejtő tetejétől a vizsgált jelöléshez való érkezés időtartamát. Ekkor 4 jelölés esetén 4 külön mérést kell csinálnunk, hogy megkapjuk az adatokat. Mindkét módszer esetén érdemes az időadatokat háromszor mérni.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Az egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgás mely jellemzőjét igazoltuk így?
- Miért és hogyan következik a kísérletből, hogy a golyó egyenletesen gyorsuló mozgást végez?
- A fenti kétféle időmérési módszer közül melyik a pontosabb?
- Milyen más módszerekkel igazolható, hogy egy mozgás (pl. lejtőn leguruló golyó) egyenletesen gyorsuló mozgást végez?
- Nézzünk utána Galilei életének és munkásságának!

Módszertani kiegészítések

- A mérési adatokat érdemes táblázatba foglalni, amelynek utolsó oszlopában az egyes távolságok megtételéhez szükséges idő négyzetét számoljuk ki. A megtett utat az eltelt idő négyzetének függvényében ábrázolva egyenest kapunk, amelyből $s \sim t^2$-re következtethetünk.
- A $s \sim t^2$ összefüggés egy speciális egyenes vonalú egyenletesen gyorsuló mozgásra, a szabadesésre is bemutatható kötélre csomózott anyacsavarok segítségével (lásd 5.4. kísérlet).

- A mérést érdemes úgy elvégezni, hogy a diákok mérik az időt. A diákok egy csoportja mérheti a 16, egy másik csoport a 9, egy harmadik a 4, és egy negyedik 1 egység megtételéhez szükséges időt. A tanár hangjeleket is adhat az egyes jelölők elérésekor. Ezzel a módszerrel az egyik módszer pontosságát ötvözzük a másik módszer gyorsaságával.
- A kísérlethez kapcsolódóan mindenképpen érdemes Galilei munkásságával foglalkozni, azon belül a természettudományos gondolkodás kialakulásával. A történelemben talán ez a legelső kísérlet, melyet egy elmélet tudományos igazolása kedvéért végeztek el. A történelmiségét kihangsúlyozva a kísérletet el lehet végezni archaikusan, azaz nem stoppert, hanem Galilei által használt vízórát használva. Galilei, mivel nagy pontosságú időmérő eszköze nem volt, ezért egy vödörből csöpögtetett vizet (egyenletesen), melynek a tömegét mérte. Természetesen nem szükséges egy vödröt átfúrni és kétkarú mérleggel mérni a tömegeket, de az is tanulságos lehet, ha a csapból egyenletesen kifolyó vízzel mérünk. A mérés menete a következő: Készítsünk elő 12 egyforma műanyag poharat. A csapot állítsuk egy egyenletes, lassú kiolyásra. Előzetesen ezt érdemes kipróbálni és olyan kifolyási sebességet választani, hogy a leghosszabb út alatt pont megteljen a pohár. A méréshez szükséges egy diák segítsége. A golyó indítását érdemes a tanárnak végezni. A diák dolga, hogy indításkor betegye a csap alá a poharat és az adott út megtétele után kivegye. Ezt a tanár hangjelzésekkel tudja irányítani. Minden távolságon érdemes 3-szor ismételni. Ezt követően egy (a pohár tömegével tárázott) mérleggel mérjük meg a víz tömegét. Ezt, mint önkényes egységet használva igazolhatjuk a négyzetes úttörvényt.

5.4. Ejtőzsinór készítése

A kísérlet célja

Négyzetes úttörvény igazolása, demonstrálása. Annak bizonyítása, hogy a szabadesés egyenletesen változó mozgás.

Szükséges anyagok, eszközök

- Csavaranyák
- Spárga, vagy cérna
- Fémtálca

Leírás

Készítsünk két ejtőzsinórt! Az egyiken a csavaranyákat egyenletes távolságra helyezzük el egymástól, pl. 15 cm-enként. A másikon a zsinór aljától mért távolságuk legyen a négyzetszámokkal arányos: kössünk a zsinór egyik végére egy csavaranyát, majd egy másikat ettől 15 cm -re, a másodiktól 45 cm-re a harmadikat, a harmadiktól 75 cm-re a negyediket és a negyediktől 105 cm-re az ötödiket.

Emeljük fel az ejtőzsinórok végét úgy, hogy aljuk a fémtálcát éppen érintse és ejtsük le őket! Figyeljük meg a koppanások közt eltelt idő nagyságát.

Módszertani kiegészítések

- A koppanásokat fel is vehetjük telefonnal, és Audacity programmal ki is értékelhetjük a koppanások között eltelt időt. A kísérlet sikerének kulcsa az, hogy a koppanás jól hallható legyen, ehhez megfelelő fémtálca szükséges.
- Az eszközt érdemes spárgával, vagy valami vastagabb fonállal megcsinálni, mert nagyon könnyen összegubancolódik. Ha megcsináltuk, akkor használat után érdemes valamire feltekerni.

5.5. A nehézségi gyorsulás értékének mérése deszka-ingával

A kísérlet célja

A nehézségi gyorsulás értékének közelítő meghatározása

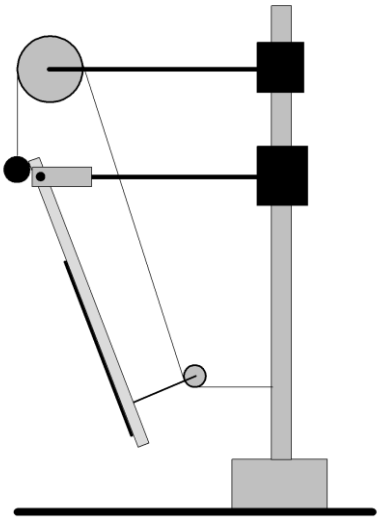
Szükséges anyagok, eszközök

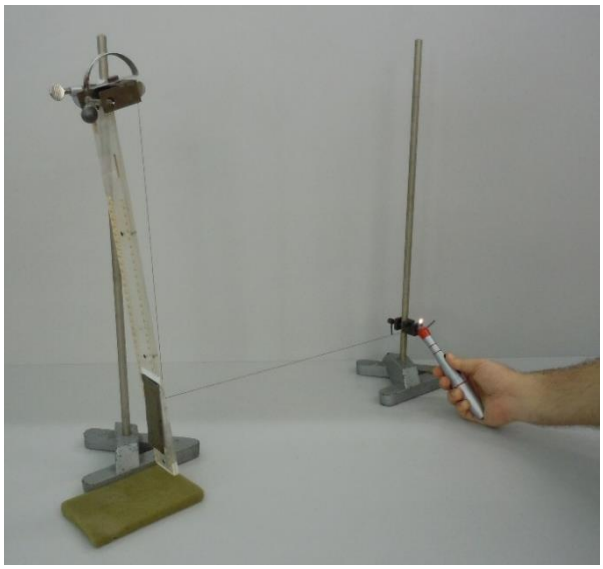
- deszka-inga (Whiting-féle)
- Bunsen-állvány, csavarral
- szivacslap
- fonál
- gyufa vagy gázgyújtó
- acélgolyó akasztóval
- papírlapok
- indigó
- cellux

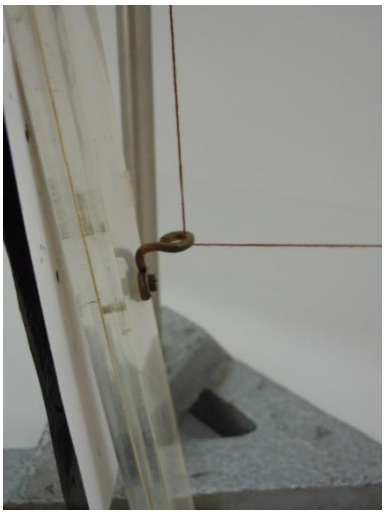
Leírás

A Whiting-féle deszka-inga egy vízszintes tengely segítségével felfüggesztett, kb. fél méter hosszúságú, 5 cm széles léc, mely kitérítve fizikai ingaként lengéseket végez T periódusidővel. Mérjük meg ezt a periódusidőt, 10 lengés átlagát számolva!

Ragasszunk a deszka külső felének alsó egyharmadára papírlapot, erre pedig indigópapírt (a festékes rész a papírlap felé nézzen). Egy fémgolyón fűzzünk át kb. 1 méter hosszú cérnát, amelynek másik végét a lécre csavarozott hurkon át vezetve kössük egy Bunsen-állványhoz az ábra szerint. Az átfűzött fonál egyrészt kitéríti a deszkát nyugalmi helyzetéből, másrészt a golyót is felfüggesztve tartja. A cérnát úgy kössük meg, hogy a deszka kb. 20°-os szögben térjen ki és a golyó pedig éppen a léc tengelyével egy vonalban legyen (lásd fénykép)! A golyó leesési helyére helyezzünk szivacslapot!







Égessük el a cérnát a befogási pont közelében. Ekkor az elégetés pillanatában a golyó leesik, és a deszka kilendül, majd a deszka és a golyót ütközik, amikor a léc éppen függőleges állásban van. A golyó és a léc ütközésének pillanatáig a deszka éppen negyed periódust tett meg egy lengéséből.

Mivel a golyó az ütközés miatt nyomot hagy a papíron, meg tudjuk határozni a szabadon eső golyó által megtett utat, ami az ütközési nyom és a forgástengely távolsága. Ezen adatokból (t, s) kiszámolható a nehézségi gyorsulás értéke.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Ismertessen további legalább három módszert a nehézségi gyorsulás értékének közelítő meghatározására.

Módszertani kiegészítések

- A deszkás inga házi eszközökkel is könnyen megvalósítható. A képeken látható eszköz is saját készítésű.

5.6. A nehézségi gyorsulás nagyságának meghatározása okostelefonnal

A kísérlet célja

Nehézségi gyorsulás nagyságának becslése. A digitális méréstechnika lehetőségeinek és korlátainak bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- okostelefon
- Androidos operációs rendszer esetén Sensor Kinetics nevű program (vagy más gyorsulásmérő program)
- Párnával kibélelt doboz

Leírás

A fent ajánlott gyorsulásmérő programot (Sensor Kinetics), vagy bármely más célnak megfelelő programot telepítsük az okostelefonra. Érdemes előzetesen tanulmányozni az alkalmazás funkcióit, működését.

A gyorsulásmérő program elindítása után engedjük el a telefont vízszintesen tartva, a párna felett kb. 2 m-rel. Előtte mindenképpen próbáljuk ki a párnázott doboz rugalmasságát, nehogy kipattanjon a telefonunk. A mobiltelefonok esetleges meghibásodásáért a jegyzet készítői nem vállalnak felelősséget!

Feladatok

- A mobiltelefon mozgatásával határozzuk meg, melyik a telefonhoz képesti x, y és z tengelyt!
- Határozzuk meg a nehézségi gyorsulás nagyságának értékét!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Nézzünk utána, hogyan méri a gyorsulást a mobiltelefon. Miért mutat a mobiltelefon álló helyzetben kb. 10 m/s^2 gyorsulást?

Módszertani kiegészítések

- A doboz kipárnázása úgy is megoldható, hogy a doboz nyitott tetejére egy vastagabb szövetet helyezünk, mely túllóg rajta. Ekkor a telefon leérkezésekor a szövet besüllyed, mely megvédi a telefont és a kipattanást is megakadályozza.

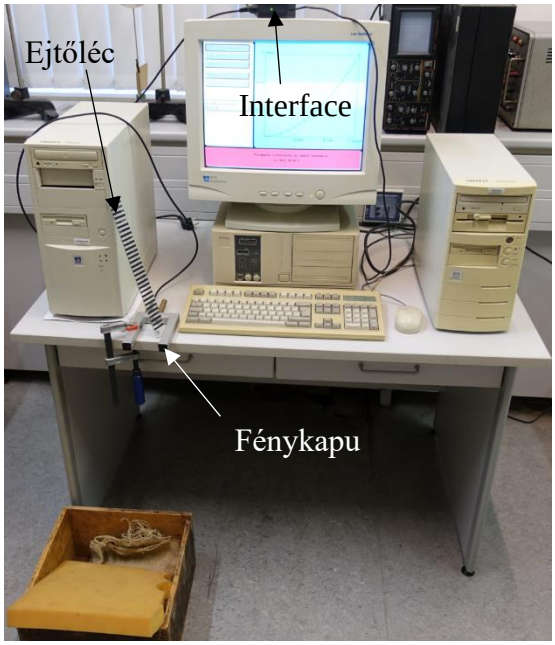
5.7. Nehézségi gyorsulás mérése fénykapuval

A kísérlet célja

A fénykapus mérés elvének megismerése. A nehézségi gyorsulás meghatározása számítógépes méréssel.

Szükséges anyagok, eszközök

- Ejtőléc (30 cm hosszú, 1 cm-es beosztással)
- Számítógép (fénykaput vezérlő szoftverrel)
- Fénykapu és interface (adatgyűjtő)



Leírás

A fénykaput a könnyebb felhasználás érdekében érdemes az asztalhoz rögzíteni. A fénykapu az interface-hez (vagy adatgyűjtőhöz) csatlakozik, majd a számítógéphez. A jobb oldali kép mutatja az összeállítást. Az eszköz akkor működik megfelelően, ha a fénykapu két pofája közé téve a kezünket az interface-en található LED elalszik. A számítógépen indítsuk el a programot, mely a fénykapu jeleit feldolgozza.

Feladatok

- Az ejtőlécet lógassuk be a fénykapu érzékelői közé addig, míg a LED pont nem alszik ki. Indítsuk el a mérést, majd igyekezünk kezdősebesség nélkül elejteni a lécet. Akkor ejtettük le jól, ha a pontok egy nulla meredekséggel induló parabolát rajzolnak ki. Illesszük $y = ax^2$, $y = ax^n$ és $y = ax^2 + bx + c$ függvényeket a pontokra! Jegyezzük fel az illesztett görbék egyenletét és azok alapján értékeljük ki milyen mozgást végzett a test, valamint határozzuk meg a nehézségi gyorsulást!
- Próbáljuk meg a lécet 5 cm-rel az érzékelő fölül leejteni, hogy kezdősebességgel érjen a pofák közé. Írjuk le, hogyan módosultak az egyenletek! Mi történik, ha még magasabbról ejtjük a lécet?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Nézzünk utána a fénykapus mérés alapelvének (azaz hogyan működik a fénykapu)! Mi az előnye és a hátránya a videóelemzés módszerével összehasonlítva?

Módszertani kiegészítések

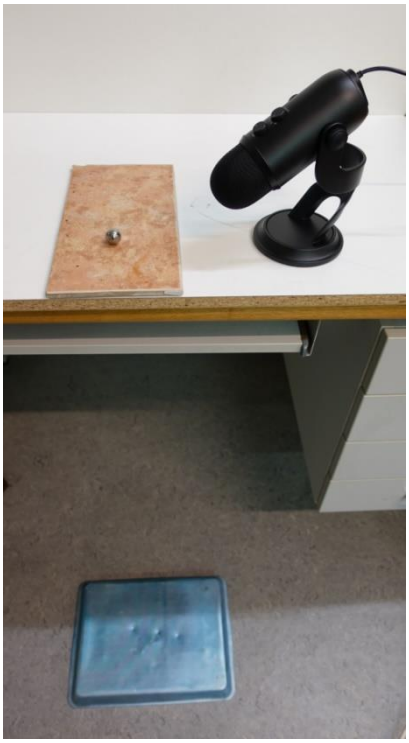
- A videokamerák elterjedése és az ingyenesen is elérhető fejlett videoelemző programok miatt a fénykapus mérések már elavultnak számítanak a fizika demonstrációk világában. Természetesen méréstechnikailag fontos, hiszen ha csak a hely-idő adatok érdekelnek minket, akkor nem szeretnénk a videó által hordozott plusz információkat tárolni, de az oktatási folyamatban ilyen problémát nem kell kezelni, sőt a mozgás és az azt jellemző grafikon együttes megjelenése segíti a fogalmak elmélyülését.

5.8. Nehézségi gyorsulás értékének meghatározása Audacity számítógépes akusztikus mérőprogram segítségével

A kísérlet célja

Az Audacity számítógépes mérőprogram használata pontos időmérésre! A nehézségi gyorsulás értékének meghatározása.

Szükséges anyagok, eszközök



- Nagyobb méretű acél csapágygolyó
- Nem teljesen sima felületű kerámialap (járólap)
- Fémtálca
- Mérőszalag
- Számítógép (*Audacity* akusztikai mérőprogrammal)
- Mikrofon

Leírás

A járólapot a vízszintes asztalra helyezzük, a fémtálcát a földre. Mérjük le a két felület közötti magasságkülönbséget! A lemért magasságba beállított vízszintes kerámialapon gurítsuk el a golyót úgy, hogy az a fémlapra essen! A mikrofont helyezzük el közel a járólaphoz! A kissé egyenetlen felületű kerámialapon a golyó jellegzetes hanggal gurul. Amikor a golyó a lap szélét elhagyva esni kezd, a hang megszűnik, végül a talajra leérkező golyó hangosan koppan.

Feladatok

- Készítsünk hangfelvételt az Audacity program segítségével a golyó mozgását kísérő hangokról! A hangfelvétel grafikonján mérjük meg a golyó eséséhez tartozó időszakaszt (a guruló golyó hangja és a koppanás közötti csendes tartományt) ezredmásodperces pontossággal! (A mikrofonnak van egy jellegzetes lecsengése (nem azonnal lesz a jelszint alacsony a csendes tartományon), így nem teljesen egyértelmű, hogy mikor kezd esni a golyó. Érdemes a felvételt visszahallgatva eldönteni, hogy mikor hagyja el a golyó a kerámia lapot.)
- A mért magasság- és időadat alapján határozzuk meg a nehézségi gyorsulás értékét! Soroljuk fel milyen hibaforrások lépnek fel a kísérlet során. Határozzuk meg a kapott eredmény relatív hibáját!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A kísérlet során igazából egy vízszintes hajítást vizsgálunk. Miért nem foglalkozunk a golyó vízszintes irányú sebességével a kiértékelés során?

Módszertani kiegészítések

- Az Audacity program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 702. oldalán.
- Sajnos ennél a kísérletnél hatalmas hibát okozhat, hogy a mikrofon által kimért hangnyomás görbe alapján nem lehet eldönteni, mikor kezd esni a golyó (a már említett lecsengés miatt). Tanári demonstráció esetén érdemes

kicsit „csalni”: előzetesen ki lehet számolni az adott magasság megtételéhez szükséges időt (feltételezve a pontos 9,81 m/s^2 gyorsulást). A leérkezés jól meghatározott időpontjától az időtartományt addig kell kijelölni, míg a pontosan kiszámított értéket nem kapjuk.

- Vegyük észre, és hívjuk is fel a diákok figyelmét arra, hogy a földi nehézségi gyorsulás értékének mérése a négyzetes úttörvényre alapozott egyszerű út-idő méréssel nehéz, mert g értéke viszonylag nagy. Emiatt, ha alacsony távolságot választunk, az időmérés pontatlansága miatt a végeredmény hibája is nagy. A fent említett sokféle módszerrel az időmérést igyekeztünk pontosítani. Érdemes házi feladatként feladni a diákoknak, hogy akár Galilei korában akár a 21. században hogyan lehet még pontosabbá tenni a mérést a lejtővel.
- Tantermi körülmények között g legpontosabb mérési módszere, ha egy fonálinga hosszát és lengésidejét mérjük meg, és a lengésidőre vonatkozó képletből kiszámítjuk g értékét (itt is hosszúságot és időt mérünk!!!). Ez természetesen másik fejezete a tananyagnak, de érdemes visszautalni később.

5.9. Kísérletek a tehetetlenség törvényére

a) Papírlap kihúzása tárgyak alól

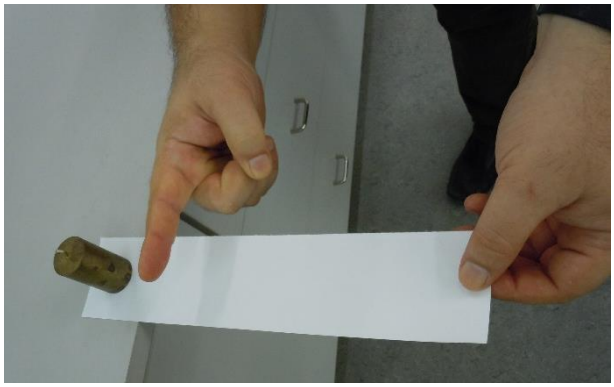
A kísérlet célja

A tehetetlenség törvényének bemutatása egyszerű demonstrációs kísérlettel.

Szükséges anyagok, eszközök

- hosszú, keskeny papírlap (kb. 5x30 cm)
- fahenger
- vashenger

Leírás



Fektessünk egy kb. 30 cm hosszú, 5 cm széles papírlapot az asztalra úgy, hogy csak az egyik vége legyen az asztal szélén, a levegőben lévő véget fogjuk meg. Helyezzünk az asztalon lévő papírvégre egy vashengert! Ha lassan húzzuk le a papírlapot az asztalról, akkor a vashenger a papírlappal együtt mozog.

Rántsuk ki hirtelen a papírlapot a henger alól! Ezt a legcélszerűbb a következőképpen megtenni: a papírlap egyik végét egyik kezében fogva, csapjunk rá a másik kezünk mutatóujjával a vízszintesen tartott papírlapra (lásd fénykép). Ekkor a vashenger (jóformán) a helyén marad. Végezzük el ez utóbbi kísérletet ugyanekkora méretű fahengerrel (azaz kisebb tömegű hengerrel) is.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan magyarázható a fa- és a vashenger esetén tapasztalt különbség?
- Hogyan változna a kísérlet kimenetele, ha a henger és a papírlap közti súrlódási együttható nulla lenne?
- Soroljon fel példákat a hétköznapi életből, amikor felhasználjuk a tehetetlenség törvényét!

Módszertani kiegészítések

- A súrlódás erőtörvényének ismeretében mélyebb magyarázat is adható a tapasztaltakra. Bevezető szinten (általános iskola, vagy a dinamika tanulásának kezdetén) nem érdemes túlmagyarázni. Bőven elég annak tudatosítása, hogy a nyugvó testek nyugalmi állapotukat fenn akarják tartani és minél nagyobb valaminek a tömege, annál nehezebb a nyugalmi állapotából kimozdítani.

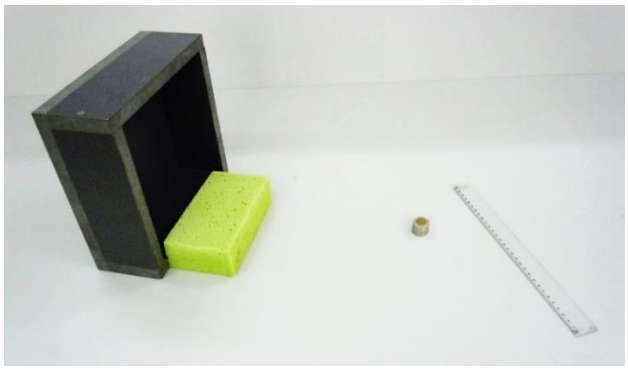
b) Érmetorony

A kísérlet célja

A tehetetlenség törvényének bemutatása egyszerű demonstrációs kísérlettel.

Szükséges anyagok, eszközök

- 6 db 100 Ft-os érme
- vonalzó
- doboz
- szivacs



Leírás

Állítsunk egymásra 6 db 100 Ft-os pénzérmét az asztalra, majd a vonalzót vízszintesen az asztal lapja mentén mozgatva üssük ki a mindenkori alsó pénzérmét a szivacs felé!

Vigyázat!

A kísérlet elvégzése előtt teremtsünk az asztalon olyan körülményeket, hogy az elütött érméket könnyen és maradéktalanul megtalálhassuk, ezt a célt szolgálhatja a doboz és a szivacs.

c) „Bűvésztrükk" I.

A kísérlet célja

A tehetetlenség törvényének bemutatása egyszerű demonstrációs kísérlettel.

Szükséges anyagok, eszközök

- főzőpohár (250 cm^3-es), kibélelve papírtörlővel
- kartonlap
- 1 db 100 Ft-os érme

Leírás

Egy papírtörlővel bélelt főzőpohár szájára fektessünk egy kartonlapot, majd helyezzünk erre egy 100 Ft-os pénzérmét. A kartonlap elpöckölésével juttassuk a pénzérmét a főzőpohárba.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan változna a kísérlet kimenetele, ha a pénz és a karton közti súrlódási együttható nulla lenne?

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet hatása növelhető, ha hangzatos szöveggel „bűvésztrükk-szerűvé" tesszük ezt a kísérletet.

d) „Bűvésztrükk" II.

A kísérlet célja

A tehetetlenség törvényének bemutatása egyszerű demonstrációs kísérlettel.

Szükséges anyagok, eszközök

- üres gyufásdoboz

- 5 Ft-os pénzérme

Leírás

Csúsztassuk az 5 Ft-os pénzérmét a gyufásdoboz fala és a fiók fenéklapja közé! Vegyük bal kezünkbe a gyufásdobozt úgy, hogy legkisebb lapja legyen alul, ahová a pénzérmét is helyeztük! Fordítsuk úgy, hogy a pénzérme tőlünk távolabbi oldalon, a „nézők” felé legyen! Kisujjunkkal támasszuk meg alulról a dobozt, többi ujjunkat lazán tegyük köré, csak annyira, hogy megakadályozzuk az elborulását és a leesését! Jobb kezünk mutató- és középső ujjával erősen ütögessük a gyufásdoboz fiókjának felül lévő lapját és a doboz felső élét többször egymás után! Figyeljük meg, hogy néhány ütés után a pénzérme kibújik a gyufásdobozból.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a szerepe az ütögetésnek a kísérletben?
- Miért pénzérmét használunk a kísérletben és nem műagyagból vagy kartonlapból készült korongot?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan „vicces” és/de szemléletes videókat bemutatni.

Autószállítás rögzítés nélkül

Egy régi trükk XXL-ben

5.10. Newton II. törvényének sztatikus erőfogalomra alapozott bevezetése

a) Sztatikus erőfogalom kísérleti megalapozása

A kísérlet célja

Az erőfogalom sztatikus bevezetése és ennek segítségével Newton II. törvényének kísérleti igazolása.

Szükséges anyagok, eszközök

- tükörskála, Bunsen-állványba befogva
- rugó (viszonylag laza)
- alkoholos filctoll
- egyforma tömegű nehezékek (50 g-os súlysorozat)

Leírás

A Bunsen-állvány diójára akasszuk a rugót és a mögé rögzített papíron jelöljük be a rugó aljának helyét. Akasszunk ezután egyforma tömegű nehezékeket egymás után a rugóra, majd minden ráakasztás után jelöljük meg a papíron a rugó aljának helyét. Azt tapasztaljuk, hogy a szakaszok, vagyis a rugó egyes megnyúlásai egyforma hosszúságúak. Az erő alakváltoztató hatásának demonstrálása mellett ezzel a módszerrel erőmérő eszközt készítettünk, vagyis megadtuk az erő mérésének módját. Ez egyenértékű a definíció megadásával, helyettesíti azt.

Az egység lerögzítése után a rugós erőmérő segítségével tehát meg tudjuk adni egy testre ható (gyorsító)erő nagyságát.

b) Newton II. törvénye

A kísérlet célja

Az erőfogalom sztatikus bevezetése és ennek segítségével Newton II. törvényének kísérleti igazolása

Szükséges anyagok, eszközök

- sín leejtőnek, egyik végén kampóval
- laborlift (vagy könyvek a sín egyik végének megemeléséhez)
- kiskocsi (súlyokkal)
- rugós erőmérő (1 N méréshatárú)
- erőmérő alá kis fa ék
- stopper (vagy saját telefon)
- mérőszalag

Leírás

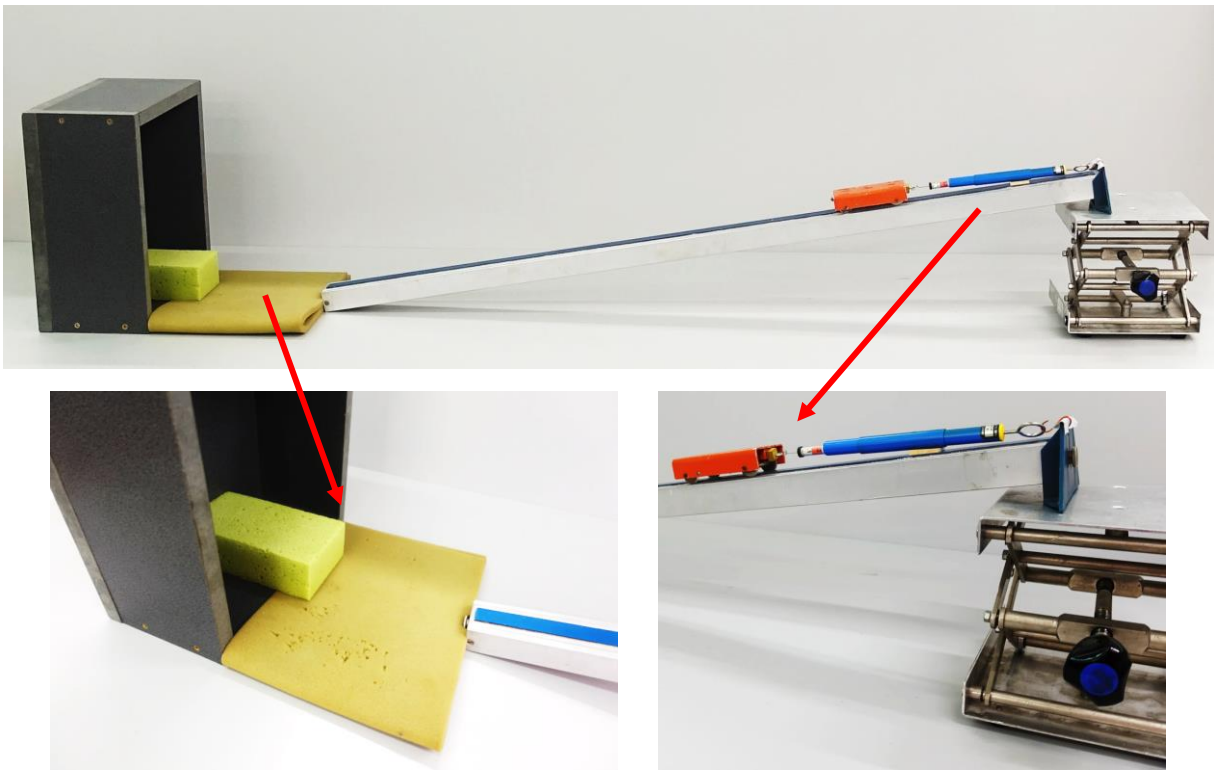
A laborliftet csavarjuk maximális magasságra, majd támasszuk fel a sín kampós oldalát a liftre, hogy lejtőt alkosson. A rugós erőmérő fix oldalát akasszuk be a feltámasztott oldalon lévő kampóba. Helyezzünk a sínre könnyen gördülő kiskocsit a súlyokkal és csatlakoztassuk a rugós erőmérőhöz. Majd tegyük a fa éket az erőmérő alá a képen látható módon úgy, hogy az erőmérő a sínnel párhuzamos legyen. Olvassuk le az erő értékét! A súrlódás miatt az erő leolvasása

bizonytalan; a kocsi lökdösésével más-más egyensúlyi helyzet beállítása lehetséges. A kocsi mozgatásával nézzük meg, hogy melyik az a pont, amikor már csak a rugós erőmérő tartja a kocsit!

Ezután határozzuk meg a kiskocsi gyorsulását! Ehhez az adott lejtőn, ismert hosszúságú szakaszon engedjük legurulni a kiskocsit és mérjük meg az ehhez szükséges időt! (Figyeljünk oda, hogy a kiskocsi a sínben fusson!) A négyzetes úttörvény segítségével kiszámítható a gyorsulás.

Vigyázat!

Nagyon fontos a kép bal oldalán látható „kifutó megépítése", amely biztosítja, hogy a kocsit ne kelljen megfogni, de ne is sérüljön túlzottan a kísérlet során.

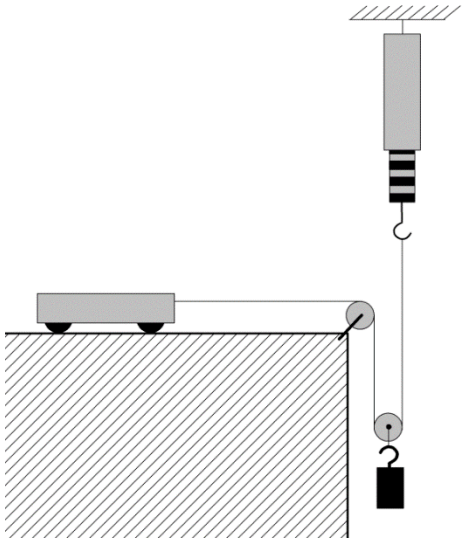


Feladatok

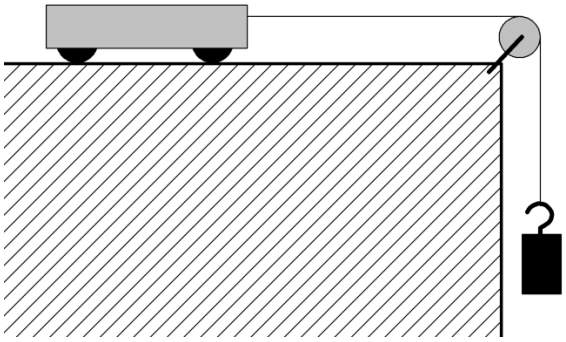
- Végezzük el a fent leírt mérést 4 különböző hajlásszög esetén! (A laborlift legmagasabb és legalacsonyabb állása között még két kb. egyenlő lépésben.)
- Ábrázoljuk a kiskocsi gyorsulását a gyorsító erő függvényében!
- Határozzuk meg a grafikonról a kiskocsi tömegét, majd vessük össze a mérleggel való mérés eredményével!
- Vegyük számba a mérést befolyásoló hibákat!

Módszertani kiegészítések

- Az erő közvetlen mérésére alapozott kísérlet klasszikus példája a szélső ábrán látható. A kísérlet során a mozgócsigára különböző testeket akasztva, mérjük a kiskocsi gyorsulását és a fonálra kapcsolt erőmérővel a kocsira ható erőt. Vegyük észre, hogy a kiskocsit a fonalerő gyorsítja, s a dinamométer éppen ezt az erőt méri. Az erő nagyságára tehát nem a csigára akasztott testek tömegéből következtetünk.



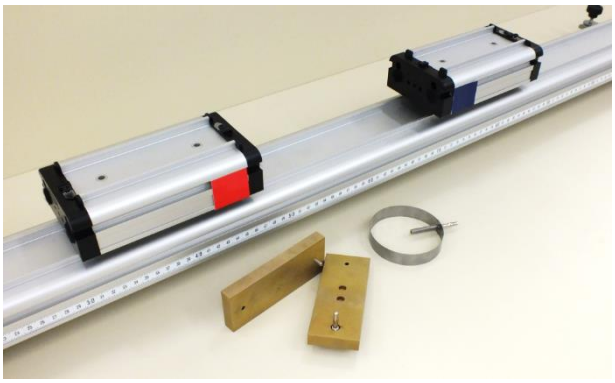
  A mért értékpárokat erő – gyorsulás grafikonon ábrázolva megállapíthatjuk, hogy a mérési pontok olyan egyenesre illeszkednek, amely jó közelítéssel az origón megy át, azaz $F \sim a$. Mivel az erőmérő csak nehezen olvasható le, hiszen a mozgás egyenletesen gyorsuló szakasza rövid, és technikailag ennek a kísérletnek az összeállítása nehézkes, ezért javasoljuk a 5.10/b pontban leírt összeállítást.
- A mérési problémákat gyakran az alsó ábrán látható egyszerűsített mérési összeállítással szokták kiküszöbölni, de elvi hibája miatt nem javasoljuk.



5.11. Ütközéses méréssorozat a tehetetlen tömeg fogalmának bevezetéséhez

A kísérlet célja

A tehetetlen tömeg fogalmának bevezetése párkölcsönhatások vizsgálta során.



Szükséges anyagok, eszközök

- Sín
- Színes kiskocsi (terhelő tömegekkel)
- Webkamera
- Számítógép (*LabCamera vagy Tracker* mérőprogrammal)

Leírás

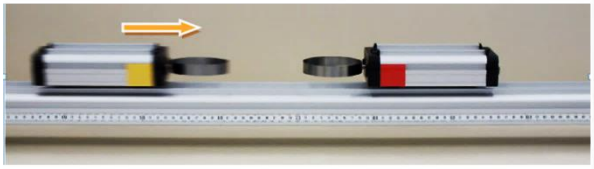
A kísérlet összeállításának első lépése a sín vízszintes beállítása. Ezt egyszerűen úgy ellenőrizhetjük, hogy a könnyen guruló kocsit ráállítjuk a sín különböző pontjaira. Ha a kocsi magától sehol nem gurul el, a sín vízszintezése megfelelő.

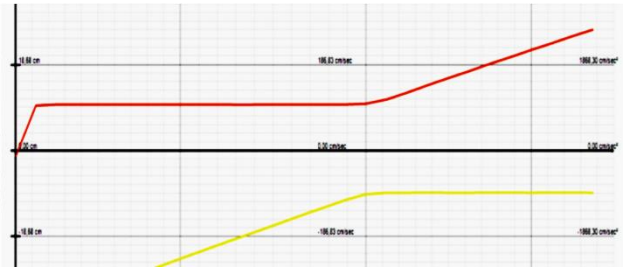
Ezután felállítjuk a webkamerát úgy, hogy tengelye merőleges legyen a sínre és az ütközés tervezett helye a képmező közepére essen. A kamera perspektivikus torzítása (ami a mozgás kiértékelésének pontossága miatt fontos) kisebb, ha a látószög kisebb, ezért a kamerát érdemes távolabbra állítani.

A kiskocsikra szereljük fel az ütköző laprugókat! Érdemes mindkét kocsit felszerelni ütközővel, mert ha csak az egyikre rakunk rugót, a kocsik tömege már nem pontosan azonos, ami a későbbi mérés pontosságát befolyásolja. A kocsikra ragasszunk a kamera számára jól érzékelhető színes marker-lapokat. A marker színe intenzív piros, sárga, zöld és kék lehet. A színt úgy érdemes megválasztani, hogy jól elkülönüljön a kísérlet hátterétől. Az ideális az, ha a sínt homogén szürkés háttér, vagy fehér fal elé állítjuk és szórt nappali fényben kísérletezünk. Mestersége világítás esetén a kamera színérzékenysége változhat ezért a markerszínek kiválasztásához érdemes próbamérést végezni. Homogén háttér hiányában a környező színes tárgyak megzavarhatják a program működését, a kocsikra helyezett szín-markert elveszítheti a program, ha az mozgás során hasonló színű, háttérben lévő tárgyak előtt halad el. A kamera színérzékenysége a programban állítható.

A mérőkísérlet megkezdése előtt a program hosszúságmérését kalibrálni kell. Erre jól megfelel a sín oldalán gyakran megtalálható cm-skála, vagy akár egy kísérleti kocsi előzőleg lemért hossza. A mérés koordinátarendszerének kezdőpontja a programban szabadon megválasztható. Célszerű azt az ütközési középpontba helyezni. Az első kísérlet során az ütközés előtt álló kiskocsit ide rakjuk, a neki szaladó másik kocsit a sín középpontjától távolabb úgy helyezzük el, hogy benne legyen a kamera látóterében. A kísérlet ilyen beállítása után a webkamera számítógép képernyőjén megjelenő képén a kurzorral rákattintunk a kocsikra szerelt színes markerekre, a felvételt indítjuk, majd a szélen álló kocsit határozott mozdulattal a középen álló felé lökjük. Az eredményes mérés feltétele, hogy a lökés megfelelő legyen. Túl erős lökés nagy sebességű mozgást eredményezhet, amit a program már nem képes követni. A nagy lendületű ütközéskor a laprugók erősen deformálódnak, ami növeli az ütközés energiaveszteségét. A túl gyenge lökés miatt a kocsi sebessége kicsi, amit már a különben elhanyagolható súrlódási

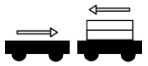
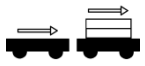
hatások is jól érzékelhetően lassítanak, ilyenkor az ütközés során meglökött kocsi gyakran előbb megáll, minthogy kigurulna a kamera látóteréből. A kiskocsi optimális meglökését a mérés előtt érdemes néhányszor gyakorolni.





Feladatok

- Végezzük el a táblázatban felvázolt ütközési kísérleteket és töltsük ki a táblázatot.

A film linkje	Az ütköző kiskocsik		a kocsikra szerelt ütköző	a sebességek nagysága				a sebességváltozások			
				ütközés előtt		ütközés után		nagysága		nagyságának aránya	egymáshoz viszonyított iránya
	1.	2.		v_1	v_2	v_1'	v_2'	$\lvert\Delta v_1\rvert$	$\lvert\Delta v_2\rvert$	$\frac{\lvert\Delta v_1\rvert}{\lvert\Delta v_2\rvert}$	
utk1			rugó								
utk2			összenyomott rugó								
utk3			rugó								
utk4			tépőzár								
utk5			tépőzár								
utk6			rugó								
utk7			összenyomott rugó								
utk8			tépőzár								
utk9			rugó								

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet webkamera alapú kiértékelése csak egy példa. Természetesen pl. Tracker program segítségével is ki lehet elemezni, mellyel hasonló eredmények kihozhatók. Klasszikus mérése az ütközés előtti és utáni sebességeknek fénykapukkal történik.

- Az erőfogalom dinamikai bevezetése komoly kognitív kihívást jelent a tanulók többsége számára, amit az is nehezít, hogy a táblázatban felvázolt méréssorozat idő és eszközigényes, ezért a tanítás során legtöbbször csak demonstrációra van lehetőség, a tényleges mérés kimarad. Időhiány esetén javasoljuk, hogy az órán egyetlen „élő" kísérlet bemutatása után, az előre videóra vett ütközési eseteket a diákok tanári vezetéssel, csoportmunkában, vagy házi feladatként értékeljék ki. A videók megtalálhatók a demonstrációs fizika labor honlapján.
- A mérések eredményeit összesítve levonható a méréssorozat tanulsága, amely szerint minden ütközés során fennáll

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1},$$

azaz az ütköző kiskocsik tömegének aránya megegyezik sebességváltozásaik reciprokarányával. Átszorzás után látható, hogy ez azt jelenti, hogy

$$m_1 \Delta v_1 = m_2 \Delta v_2$$

Tehát az ütközés során a mozgásállapot-változást jellemezhetjük a

$$\Delta I = m \Delta v$$

szorzattal, ahol m a test tehetetlen tömege. Ezen a ponton logikusan bevezethető a lendület fogalma az

$$I = mv$$

definícióval.

- A LabCamera (WebCam Laboratory) program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 688. oldalán.

5.12. Lejtőn való mozgás vizsgálata LabCamera program segítségével

A kísérlet célja

LabCamera mérőprogram használatának gyakorlása. Lejtőn szabadon guruló kiskocsi mozgásának elemzése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Lejtő (hozzá való dőlésszög változtató ék, fékező dobozt)
- Színes kiskocsi
- Dőlésszög mérő
- Webkamera
- Számítógép (*LabCamera* mérőprogrammal)

Leírás

A lejtőt 5 fokos dőlésszögűre állíjuk az ék segítségével. A beállítást a lejtőre helyezett dőlésszög mérővel, vagy geometriai mérések alapján (emelkedés, hossz) végezhetjük. A futópálya végéhez helyezzük a fékező dobozt, hogy a leérkező kiskocsi ne sérüljön. A számítógépen indítsuk el a LabCamera program kinematika funkcióját! A webkamerát helyezzük el úgy, hogy a lejtőt jól lássa, és egy magasságban legyen a lejtő közepével, majd a fej döntésével állítsuk be úgy, hogy a lejtő vízszintesnek látszódjon rajta. A kiskocsit rögzítsük (vagy tartsuk) a lejtő tetején és a programban kattintsunk rá a színes részre, hogy követni tudja a szoftver. A program hosszúság kalibrációjához használjuk fel a kiskocsi hosszát, vagy helyezzük vonalzót a képtérbe.

Feladatok

- Indítsuk el a mérést, majd kezdősebesség nélkül hagyjuk legurulni a kiskocsit. Amint legurult állítsuk le.

- A program lefuttatása után hívjuk be a mozgás vízszintes irányú, sebesség – idő (v_x – t) grafikonját! A grafikon alapján jellemezzük a kocsi mozgását és határozzuk meg a kocsi gyorsulását! (*Megjegyzés:* a program a gyorsulást is ki tudja rajzolni az idő függvényében, de általában nagy hibával, pontról pontra számolja, így a sebesség – idő grafikonról sokkal pontosabb eredményt kaphatunk)
- Végezzük el a mérést két másik dőlésszög esetén (pl. 2° és 10°). Foglaljuk értéktáblázatba a három különböző meredekségű lejtőn mért gyorsulások értékét (a) és a lejtők szögét (α)!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A kiskocsi nem a lejtőn súrlódás nélkül csúszó testre jól ismert képlet ($g \sin \alpha$) által jósolt gyorsulással fog mozogni. Ez nem mérési hiba (és nem a súrlódásnak tudható be)! Magyarázza, hogy mi okozza a várt gyorsulás és mért gyorsulás közötti különbséget!

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet webkamera alapú kiértékelése csak egy példa. Természetesen pl. Tracker program segítségével is ki lehet elemezni, mellyel hasonló eredmények kihozhatók. A Tracker program előnye, hogy fejlett belső kiértékelő funkciója van, így a gyorsulások az adatok exportálása nélkül meghatározhatók.

- A LabCamera (WebCam Laboratory) program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 688. oldalán.

5.13. A hatás-ellenhatás törvényének demonstrációs lehetőségei

a) Erőmérők

A kísérlet célja

Egyszerű kísérlet Newton III. törvényének szemléltetésére.

Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db rugós erőmérő

Leírás

Két rugós erőmérőt akasszunk össze, majd fektessük őket sík felületre, egyvonalban egymással. Először tartsuk rögzítve az egyiket és húzással fejtsünk ki egyre nagyobb erőt a második erőmérőre! Mindkét erőmérő egyforma értéket mutat. Ezt követően húzzuk (ellentétes irányba) mindkét erőmérőt egyre nagyobb erővel! Megfigyelhetjük, hogy az erőmérők most is egyforma értéket mutatnak.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Gyűjtsünk össze 1-2 jelenséget, vagy technikai alkalmazást, melyek a hatás-ellenhatás törvényén alapulnak.

Módszertani kiegészítések

- A hatás-ellenhatás törvényének látványosabb demonstrálására további ötleteket meríthetünk az ESA által összeállított videóból:

- A törvény „bulisabb” demonstrációját jelenti, ha a gyerekek gördeszkán, jégpályán, vagy akár biliárdasztalon kísérleteznek. Mindenképpen javasoljuk ilyen jellegű tevékenység szervezését ehhez a törvényhez kapcsolódóan.

b) Szétlökődő kiskocsik

A kísérlet célja

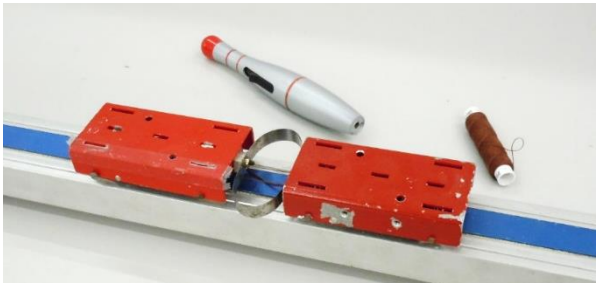
Egyszerű kísérlet Newton III. törvényének szemléltetésére

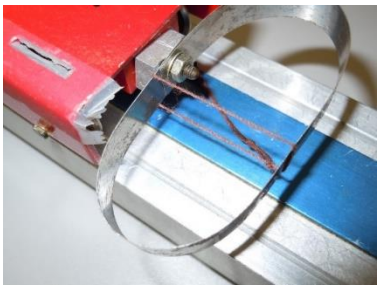
Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db kiskocsi, (sín)
- fonál
- laprugó
- gyufa vagy gázgyújtó

Leírás

Rögzítsük az egyik kiskocsira a kör alakban meghajlított laprugót, majd fonálhurok segítségével nyomjuk össze a rugót. Állítsunk mellé egy másik, ugyanekkora tömegű kiskocsit. Elégetve a fonalat, mindkét kiskocsi egyforma mértékben lökődik szét.





Ha változtatjuk az egyik kiskocsi tömegét, akkor is azt tapasztalhatjuk, hogy mindkét kocsi ellöködik, azonban a nagyobb kocsi kevésbé.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen tulajdonságokkal bír az erő és az ellenerő?
- Hogyan értelmezhető a „szétlöködő kiskocsik” kísérlet a hatás-ellenhatás és hogyan a lendületmegmaradás-törvénye alapján?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan „vicces” és/de szemléletes videókat bemutatni: Hölgyeim és Uraim, Newton III. törvénye…

5.14. Súly és súlytalanság

a) Testek tömegének és súlyának mérése

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy nyugalomban a test súlya egyenesen arányos a test tömegével.

Szükséges anyagok, eszközök

- egyforma méretű ismert tömegű fa, alumínium, vas és réz test
- rugós erőmérő
- mérleg

Leírás

Mérjük meg mérleggel a különböző anyagból készült, egyforma méretű testek tömegét, erőmérővel pedig a súlyukat! A mért adatokat táblázatba foglalva állapítsuk meg a kettő közti összefüggést!

Módszertani kiegészítések

- Az itt leírt kísérlet több csúsztatást is tartalmaz, amelyekre előbb-utóbb fel kell hívni a diákok figyelmét. A mérleg ugyanis súlyt mér, ahogy az a 5.14/c kísérletből kitűnik. Itt lehet mesélni a tehetetlen és súlyos tömegről, valamint arról, hogy mennyiben lenne más a világunk, ha a kettő nem egyezne meg (vagy más mértékrendszer esetén nem lenne arányos egymással).
- Érdemes tisztázni a nehézségi erő és a súly fogalmak közötti különbséget.

b) A súly változtathatósága

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a súly nem a test anyagi jellemzője, függ a „körülményektől” is.

Szükséges anyagok, eszközök

- test, amely az erőmérőre akasztható
- rugós erőmérő

Leírás

Akasszunk egy testet az erőmérőre, majd olvassuk le az erőmérő által mutatott értéket nyugvó állapotban! Gyorsítva emeljük fel, majd süllyesszük a testet az erőmérőnél fogva, és figyeljük közben az erőmérő mutatójának elmozdulását!

Módszertani kiegészítések

- A kísérlethez érdemes feladatot kapcsolni, különösen matematikából jó csoportnak. Kiszámolhatjuk például a test gyorsulását a gyorsítás közben leolvasott erő-értékből.
- A hétköznapi szóhasználatban gyakran felcserélődik a súly és a tömeg kifejezés. Beszéljük meg hol találkozhatunk ilyennel és soroljuk fel a lényeges különbségeket a súly és a tömeg között!

c) Mérlegen állva liftben

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a súly nem a test anyagi jellemzője, függ a „körülményektől” is.

Szükséges anyagok, eszközök

- szobamérleg
- lift

Leírás

Liftben szobamérlegre állva jegyezzük fel a mérleg által mutatott értéket, amikor a lift

a) nyugalomban van

b) felfelé indul

c) felfelé egyenletesen halad

d) fékez felfelé

e) elindul lefelé

f) lefelé egyenletesen halad

g) fékez lefelé!

Magyarázzuk meg, miért mutat a mérleg a nyugalmi helyzetben mérttől eltérő értéket bizonyos esetekben.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mennyit mutatna a mérleg, ha a lift kábele elszakadna, és a lifttel együtt szabadon esnénk?

Módszertani kiegészítések

- A kísérlethez érdemes feladatot kapcsolni, különösen matekból jó csoportnak. Kiszámolhatjuk például a lift gyorsulását a lift indulásakor/megállásakor leolvasott erő-értékből. Illetve viccesebbé téve: ha azt szeretnénk, hogy a mérleg 5 kg-mal kevesebbet mutasson, mit kell tennünk?
- Beszéljük meg mit jelent a súlytalanság! Miért vannak az űrhajósok a súlytalanság állapotában?

5.15. Súrlódásos kísérletek

a) A súrlódási erő létének szemléltetése

A kísérlet célja

A tapadási és súrlódási erő létére utaló kísérletek.

Szükséges anyagok, eszközök

- könyv
- fahasáb (egyik oldala filces), benne kampó
- rugós erőmérő

Leírás

Végezzük el az alábbi kísérleteket:

- Lökjünk meg könyvet/fahasábot az asztalon! A hasáb/könyv egy idő után megáll. Newton I. és II. törvénye értelmében ez csak akkor lehetséges, ha valamilyen erő hat a testre mozgás közben, ez a csúszási súrlódási erő.
- Húzzunk egyre nagyobb erővel könyvet/fahasábot az asztalon rugós erőmérő segítségével. A könyv/fahasáb kis erő esetén nyugalomban marad, ám egy adott húzóerő hatására már megmozdul. Newton I. és II. törvénye értelmében a könyv/fahasáb kis erő esetén csak akkor maradhat nyugalomban, ha a rugón kívül még valamilyen erő hat a testre, ez a tapadási súrlódási erő. A kísérlet alapján a tapadási súrlódási erőnek maximuma van.
- Húzzunk állandó sebességgel egy könyvet/fahasábot az asztalon erőmérő segítségével! A könyv/fahasáb egyenletes mozgatásához erő szükséges. Newton I. és II. törvénye értelmében ez csak akkor lehetséges, ha a rugón kívül valamilyen másik erő is hat a testre mozgás közben, amely a rugóerővel ellentétes és azonos nagyságú. Ez a csúszási súrlódási erő.

Módszertani kiegészítések

- Beszélgessünk arról, hogy milyen lenne a világ, ha nem lenne súrlódási erő. Hogyan jutnánk el az iskolába?
- Soroljanak fel 5-5 példát a diákok az alábbiakra:
    - mikor hasznos, mikor káros a súrlódás;
    - mikor segíti, mikor akadályozza a súrlódás egy test mozgását!

b) A tapadási és a csúszási súrlódási erőt befolyásoló tényezők vizsgálata

A kísérlet célja

A tapadási és csúszási súrlódási erő nagyságát befolyásoló tényezők vizsgálata.

Szükséges anyagok, eszközök

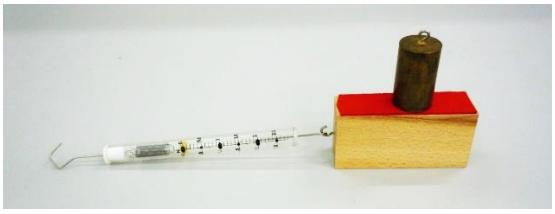
- Fahasáb, amelynek egyik oldala filces, kampóval
- rugós erőmérő
- vashenger nehezéknek

Leírás és feladatok

- Húzzunk fahasábot erőmérő segítségével az alábbi paraméterek szerint és olvassuk le az erőmérő által mutatott értéket a jelzett pillanatban. A mérési adatok alapján

fogalmazzuk meg, milyen tényezőktől függ a tapadási és a csúszási súrlódási erő nagysága!

Terhelés van/nincs	Vizsgált pillanat	Hasáb oldala	Mért erő
nincs	Megmozdítás	Sima	
van	Megmozdítás	Sima	
van	Megmozdítás	Filces	
nincs	egyenletes húzás	Sima	
van	egyenletes húzás	Sima	
van	egyenletes húzás	Filces	



- Tegyünk terhelést a sima oldalára fordított hasábra. Húzzuk egyre nagyobb erővel, amíg meg nem mozdul, majd mozgassuk egyenletesen a hasábot. Mit tapasztalunk az erőmérő által mutatott értékekkel kapcsolatosan? Mit állíthatunk azonos körülmények esetén a tapadási és a csúszási súrlódási erőről (együtthatóról)?

Módszertani kiegészítések

- A súrlódás témakörében egyrészt nehéz megérteni azt, hogy a tapadási súrlódási erőre nincs erőtörvény, csak a „körülményekből” tudom megmondani, hogy mekkora. Ezért a fogalom elsajátításáig nem érdemes a tapadási súrlódási erő maximumára felírni az erőtörvényt. Másrészt a súrlódási erő a nyomóerőtől függ. A nyomóerőt azonban sok diák a nehézségi erővel azonosítja, illetve lejtő esetén az „$mg\cos\alpha$”-val. Ezért mindenképpen mutassunk olyan kísérletet, vagy feladatot, ahol a nyomóerő nem ezek egyike.
  Ennek demonstrálására elvégezhetjük a következő kísérletet: Két nehéz könyv közé helyezve egy papírlapot, a lapot nehéz kihúzni. Ha azonban a könyveket leejtjük, a lapot könnyű kihúzni.
  Feladatként megnézhetjük, hogy mekkora erővel lehet kihúzni a satuból egy fadarabot, ha a satu a fát 100 N erővel nyomja, és a súrlódási együttható 0,2.
- Soroljanak fel a diákok 5-5 példát arra, milyen esetekben és hogyan tudjuk szándékosan növelni, illetve csökkenteni a súrlódási erő nagyságát!

c) Csúszási és tapadási súrlódási együttható mérése lejtőn

A kísérlet célja

A tapadási és súrlódási együttható kimérése.

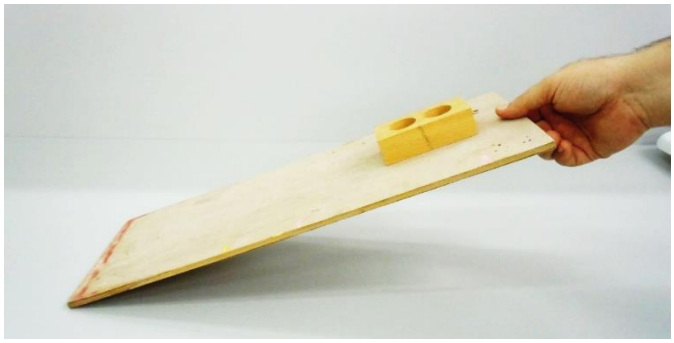
Szükséges anyagok, eszközök

- fahasáb (egyik oldala filces), benne kampó
- deszka, mint lejtő
- szögmérő, vagy vonalzó

Leírás

Tapadási súrlódási együttható mérése

Helyezzünk egy fahasábot egy deszkára, mint lejtőre! Folyamatosan növelve a lejtő hajlásszögét, keressük meg azt a szöget, amikor a fahasáb éppen megindul a lejtő mentén. Ebből a hajlásszög értékből a fahasáb és a lejtő közti tapadási súrlódási együttható értéke számítható.



Csúszási súrlódási együttható mérése

Helyezzünk egy fahasábot deszkára, mint lejtőre! Folyamatosan növelve a lejtő hajlásszögét, keressük meg azt a pontot, amikor a fahasáb éppen megindul a lejtő mentén, ekkor csökkentsük a lejtő hajlásszögét úgy, hogy a hasáb egyenletesen csússzon lefelé. Ebből a hajlásszög értékből a fahasáb és a lejtő közti csúszási súrlódási együttható értéke kiszámítható. (Megtalálhatjuk ezt a hajlásszöget úgy is, ha a lejtő emelése közben időről időre oldalirányban elmozdítjuk a hasábot, míg le nem csúszik egyenletesen a lejtőn.)

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan számíthatók ki a kísérlet alapján a csúszási és a tapadási súrlódási együtthatók?
- A c) kísérlet eredménye hogyan utal a csúszási és a tapadási súrlódási együtthatók relációjára (azonos körülmények között)?
- Mekkora a tapadási súrlódási erő a megmozdulás előtti pillanatban? (Azaz mekkora a tapadási súrlódási erő maximális értéke?)
- Milyen mozgást végez egy test, ha akkora erővel hatunk rá, hogy éppen megmozduljon, majd továbbra is ekkora erőt fejtünk ki rá? Miért?

5.16. Légpárnás jármű CD-ből, kupakból, lufiból

A kísérlet célja

Egyszerű légpárnás jármű készítése.

Szükséges anyagok, eszközök

- CD (későbbiekben nem használható)
- Szelepes kupak italosflakonról
- Folyékony ragasztó
- Lufik
- A4 méretű papírlapok
- mérőszalag

Leírás

A kupakot a folyékony ragasztó segítségével ragasszuk a CD közepére, hogy a lukat légmentesen fedje. Várjunk, amíg megszárad a ragasztó. Fújjuk fel az egyik lufit, majd felfújt állapotban húzzuk rá a zárt kupakra. A szelep felhúzásával elkezd kifelé áramolni a levegő, s a légpárnás „járművünk” lebegni kezd!

- Lebegési magasság becslése: Fújjuk a lufit többször nagyjából azonos méretűre, majd nyissuk kis a szelepet. A lebegő légpárnást óvatosan lökjük egy A4-es papírlapra. Ha ez gond nélkül sikerült, emeljük az egymásra rétegzett papírlapok számát addig, amíg a jármű a lapok szélén már fennakad. A papírlapok számának ismeretéből becsüljük a lebegés magasságát!
- Lebegési idő: Fújjunk fel három lufit három különböző méretűre. A lufik átmérőjét leeresztés előtt mérjük meg mérőszalaggal. A szelep nyitása után mérjük a leeresztés idejét, s ábrázoljuk a lufi kerületének függvényében. Mit tapasztalunk?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Rajzoljuk fel a lebegés közben a lufira ható erőket!
- Vajon hol nagyobb a levegő áramlási sebessége: a szelepen át, vagy a CD alatt?
- Magyarázzuk meg miért stabilizálódik egy bizonyos magasságon a légpárnás járművünk lebegése (azaz miért nem emelkedik magasabbra, vagy süllyed mélyebbre)

Módszertani kiegészítések

- Versenyt is rendezhetünk az osztályteremben: kinek a légpárnás járműve jut legmesszebbre egyetlen pöcköléssel? Ehhez érdemes figyelembe venni, hogy a túl nagyra fújt lufinak nagy a légellenállása, illetve az erősen megpöckölt lufi a tehetetlensége miatt lefekszik. A diákok feladata olyan jármű megalkotása és olyan indítási technika kidolgozása, mely ezeket a hatásokat kiküszöböli.
- A kupakot kis gyakorlással ki tudjuk úgy nyitni, hogy csak egy kis résen tudjon a levegő szivárogni. Egy kis rés már elég, hogy a jármű elemelkedjen, és így sokáig fenn tud maradni a súrlódás nélküli mozgása.

5.17. Az impulzusmegmaradás érzékeltetése "ágyús" kiskocsival

A kísérlet célja

Impulzusmegmaradás egyszerű (bevezető) szemléltetése.

Szükséges anyagok, eszközök

- ágyú és lövedék (acélhenger)
- spárga vagy cérna
- gyufa vagy elektromos öngyújtó (lsd. ábra)

Leírás

Ha a külső erők eredője zérus, akkor a rendszer impulzusa (lendülete) nem változik: állandó marad. A tételt könnyen guruló kiskocsira szerelt rugós játékágyú segítségével szemléltethetjük.

Feszítsük meg a játékágyú rugóját, rögzítsük spárgával, töltsük be a lövedékként szolgáló acélhengert, tegyük a kocsit a földre és égessük el a spárgát. A lövedék kirepül, a kocsi ellenkező irányba gördül. Figyeljünk a kilövésnél, hogy a kiskocsi, vagy a lövedék ne találjon el senkit, és ne kerüljön be valami alá. A rugó megfeszítése nem egyszerű. Kezdetben a hátsó rögzítő csavart csavarjuk be teljesen. Húzzuk hátra a rugót és kössük össze a csavar végén látható kampóval. Ezt követően a csavar kicsavarásával lehet a rúgót megfeszíteni.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Gyűjtsünk össze 1-2 hétköznapi jelenséget, vagy technikai alkalmazást, melyekben az impulzusmegmaradás fontos szerepet játszik.

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan vicces” és/de szemléletes videókat bemutatni.

Ágyú és lövedék

Kezdő sportlövő

- Ha nem ál rendelkezésünkre az ágyús kiskocsi, akkor hasonló kísérlet végezhető el egy golyó és ruhacsipesz segítségével (lásd: 5.18)
- Általános iskolai szinten érdemesebb a kísérleti tapasztalatot Newton III., az erő-ellenerő törvényével magyarázni, mivel kevesebb absztrakciót igényel. Ez kellően pontos is, hiszen az impulzusmegmaradás törvényéhez ennek felhasználásával jutunk el.

5.18. Ágyú csipeszből és vasgolyóból

A kísérlet célja

Newton III. törvényének és a lendületmegmaradás törvényének bemutatása egyszerű eszközökkel

Szükséges anyagok, eszközök

- ruhacsipesz
- vasgolyó
- fahasáb
- fapálca (pl. főzőkanál nyele, ceruza stb.)
- digitális mérleg

Leírás

Fogjuk be a vasgolyót a ruhacsipeszbe úgy, hogy éppen csak beszoruljon a két szára közé, és könnyen ki tudjon lőni onnan. Helyezzük az így „kiélesített” ágyút a fahasáb közepére. Ütögessük óvatosan a csipeszt a fapálcával (ceruzával), hogy szárai összecsukódjanak és kilője a vasgolyót. Figyeljük meg, hogy nemcsak a golyó repül előre, hanem a csipesz is hátrafelé.

Feladatok

- Mérjük meg a golyó és a csipesz becsapódási pontjának fahasábtól mért távolságát!
- Mérjük meg a golyó és a csipesz tömegét!
- A fenti adatok alapján igazoljuk a lendületmegmaradás törvényét!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért, hogyan szemlélteti a kísérlet Newton III. törvényét?
- Miért, hogyan szemlélteti a kísérlet a lendületmegmaradás törvényét?

Módszertani kiegészítések

- Nehéz egyszerre figyelni a golyó és a csipesz leérkezését. Érdemes kétszer elvégezni a kísérletet, felhívva a figyelmet, hogy először a golyó, majd a csipesz földet érését vizsgáljuk. Másik lehetőség, hogy homokkal teli tálcákat teszünk a leérkezési helyhez, így a testek leesési helye látható lesz.

5.19. Ütközési kísérletek

a) Rugalmatlan ütközés. Játékpisztoly-lövedék kezdősebességének mérése

A kísérlet célja

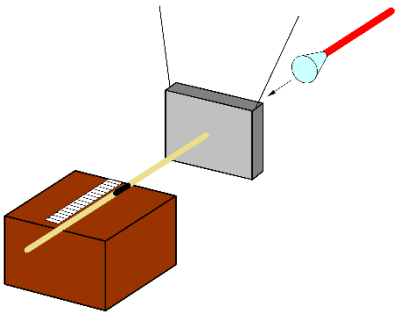
Tökéletesen rugalmatlan ütközés egy gyakorlati alkalmazásának bemutatása

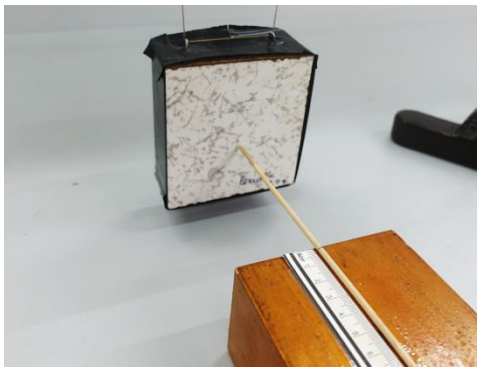
Szükséges anyagok, eszközök

- tapadókorongos műanyag játékpisztoly
- ismert tömegű, sima felületű inga, hosszú zsineggel bifilárisan állványra felfüggesztve
- hurkapálca filccel megjelölve az elmozdulás méréséhez
- megfelelő magasságú támasz (fahasáb), amin a hurkapálca akadálytalanul elcsúszhat, és amelyre mm-es beosztású papír mérőszalagot ragaszthatunk
- stopper

Leírás

A tapadókorongos játékpisztoly-lövedék — ha sima felületű tárgynak ütközik — rendszerint a tárgyra tapad. Ekkor a lövedék és a tárgy ütközése tökéletesen rugalmatlan. A lövedék sebességét „ballisztikus ingával” könnyen megmérhetjük. Esetünkben ballisztikus ingaként egy bifilárisan (két szállal) felfüggesztett fahasáb szolgál. A kísérleti összeállítást az ábra mutatja.





A bifilárisan felfüggesztett inga mögé néhány cm távolságba rakjuk le a támaszt, és erre fektessük a hurkapálcát úgy, hogy az hátulról éppen érintse az ingatest középpontját. A játékpisztollyal elölről, az inga lapjára merőlegesen lőjünk, a hasáb közepét (tömegközéppontját) érdemes megcélozni. (A célzáskor a pisztolyt tartsuk pár centiméterrel távolabb az ingától, mint amilyen hosszú a tapadókorongos lövedék szára!) Jó célzás esetén a tapadókorong megtapad az ingán, és az inga hátra lendül anélkül, hogy közben billegne.

Feladatok

- Mérjük le, mennyire tolta hátra a kilendülő ingatest a hurkapálcát a támaszon! A mérést ismételjük meg háromszor, és ezek átlagával számoljunk!
- Stopperrel mérjük meg az inga 10 lengésének idejét (a rátapadt lövedékkel együtt) és határozzuk meg a lengésidőt!
- A lengésidő és a maximális kilendülés mért értékeinek felhasználásával határozzuk meg a harmonikus lengés maximális sebességét! (A csekély mértékben kilendülő inga mozgása harmonikus rezgőmozgásnak tekinthető.)
- A rugalmatlan ütközésre érvényes lendületmegmaradási törvényt felhasználva számítsuk ki a tapadókorongos lövedék sebességét az ütközés előtt!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért kéri a feladat, hogy a rátapadt lövedékkel együtt mérjük a lengésidőt, hiszen egy inga lengésideje elvileg független a tömegtől (lásd. 5.26)?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes ezt a feladatot egy problémafelvetéssel kezdeni. „Milyen ötletetek van, hogy lehetne megmérni egy kilőtt lövedék (pl. ennek a játékpisztoly tapadókorongjának) sebességét?” Természetesen ez a módszer nem fog a gyerekek eszébe jutni. Valószínűsíthető, hogy a video elemzést javasolják. Ekkor érdemes azt is elvégezni/megpróbálni.
- A kísérlet még látványosabb fajtája, amikor légpuska lövedékének sebességét határozzuk meg ezzel a módszerrel. Ha légpuska lövedékkel szeretnénk kivitelezni, akkor az ingatest tömegét és az inga hosszát érdemes megnövelni, valamint az ingatestre legalább 2 cm vastag parafa pogácsát rakni. Ha keményebb testre lőnénk, akkor a golyó könnyen lepattanhat, ami balesetveszélyes (ráadásul az elmélete is más).

b) Ütközési kísérlet ingás golyósorral (Newton bölcsője)

A kísérlet célja

Impulzus-megmaradás egyszerű, de mégis érzékletes bemutatása ingasorral.

Szükséges anyagok, eszközök

- ingás golyósor (Newton bölcsője)
- cellux

Leírás

Testek tökéletesen rugalmas ütközése esetén az impulzusmegmaradás tétel mellett a kinetikai energia megmaradásának tétele is érvényben van. Ennek szemléltetésére bifilárisan felfüggesztett acélgolyókból álló öttagú ingasort használunk.

Feladat

- Térítsük ki a balszélső ingát, és ütköztessük az ingasorral! Térítsünk ki együtt baloldalra két (vagy három, vagy négy) ingát és ütköztessük a többivel! Fogalmazzuk meg a tapasztalatokat!

- Celluxszal ragasszunk össze két golyót nagyon szorosan és ütköztessük a többivel. Fogalmazzuk meg és magyarázzuk a különbséget az előző kísérlethez képest!

Módszertani kiegészítések

- Diákoknak érdemes lehet feltenni azt az elgondolkoztató kérdést, hogy 2 vagy több golyó kitérítése esetén miért éppen ugyanannyi golyó lendül ki a másik oldalon, s nem kevesebb nagyobb sebességgel?

c) Impulzus-megmaradás szemléltetése kiskocsik ütközése során

A kísérlet célja

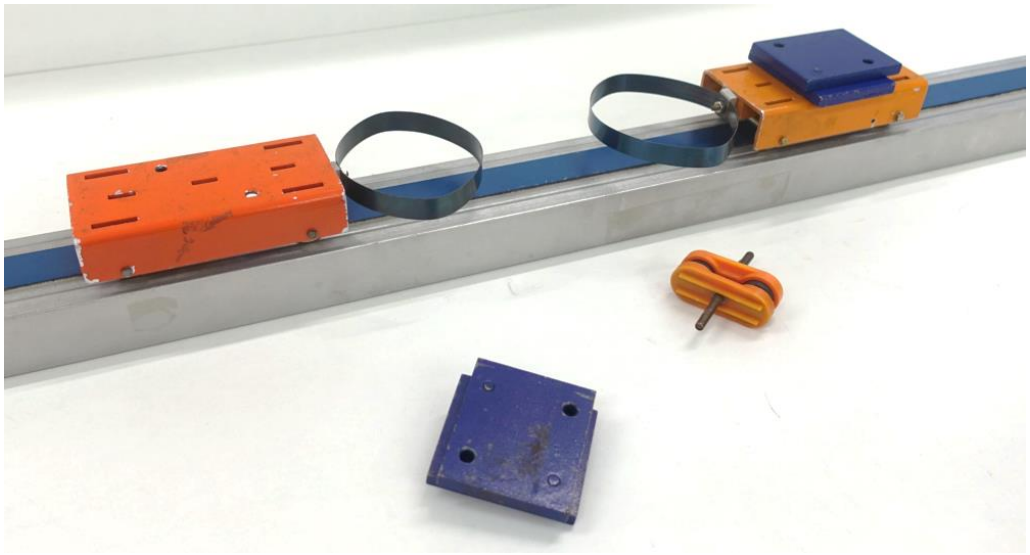
Az impulzusmegmaradás törvényének demonstrálása különböző tömegű mozgó és álló, rugókkal, ill. mágnesekkel felszerelt kiskocsik segítségével

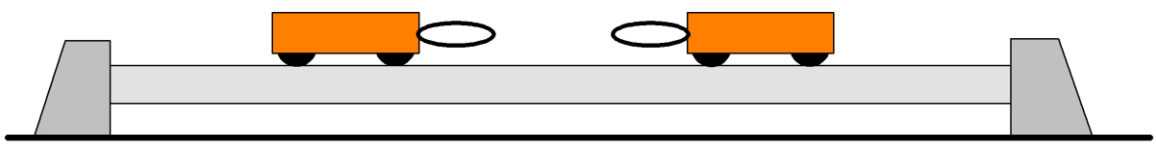
Szükséges anyagok, eszközök

- 2 kiskocsi
- sín
- súlysorozat kiskocsikhoz (kék testek, a kocsikra helyezve rögzülnek)
- mágnesek (kis dugóval a kocsikhoz csatlakoztatható)
- laprugók (kis dugóval a kocsikhoz csatlakoztatható).

Leírás és feladatok

Két, egymást vonzó mágnessel ellátott, azonos tömegű kiskocsit helyezzünk el a sínen. Az egyiket álló helyzetben állítsuk a sín közepére, míg a másik kiskocsit lökjük neki az állónak. Figyeljük meg a jelenséget! Változtassuk a kiskocsik tömegét – további súlyok ráhelyezésével – 1:2 és 2:1 ill. 1:3 és 3:1 arányban és ismételjük meg a kísérletet. Figyeljük meg és magyarázzuk a tapasztalatokat.





Mindkét kiskocsit lássuk el laprugóval, majd egyiket helyezzük álló helyzetbe a sín közepére. A másik kiskocsit lökjük neki az állónak. Ismételjük meg a kísérletet 1:2 és 2:1 arányú tömegekkel is. Figyeljük meg és magyarázzuk a megfigyeléseket!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen egyszerű magyarázatot adhatunk arra, hogy a mágnesekkel összetapadt kiskocsik ütközése miért nem tekinthető teljesen rugalmasnak?
- Milyen megmaradási tételek vannak érvényben a tökéletesen rugalmas és rugalmatlan ütközések során?

Módszertani kiegészítések

- Az itt leírt kísérletsorozat csupán az impulzusmegmaradást szemlélteti. Egyszerű kvalitatív megállapításokat lehet leszűrni belőle. Ezek alapján az impulzusmegmaradást és tökéletesen rugalmas esetben a mechanikai energiamegmaradást be lehet vezetni. Ezt követően érdemes számítási feladatot elvégezni, majd a számítást kísérletileg ellenőrizni. Olyan esetet érdemes választani, melyben nem egyértelmű a kimenetel. Például ütköztessünk egyirányba haladó, laprugóval felszerelt kiskocsikat. A lassabb kétszeres tömegű kocsinak lökjünk neki egy sokkal gyorsabb egyszeres tömegűt. Miután kiszámoltuk az ütközés utáni sebességeket ellenőrizzük kísérlettel! Ha a számításból az jön ki, hogy a kisebb tömegű visszapattan és a kísérlet is azt mutatja, akkor az a diákok számára bizonyítja az elmélet helyességét, emellett az elmélet alkalmazása megmutatja, hogy a törvényeket nem öncélúan fogalmazzuk meg, hanem azért, hogy felhasználjuk jelenségek leírására, a kimenetel meghatározására.
- Számítógépes kiértékeléssel (fénykapu, vagy LabCamera, Tracker, stb) természetesen mérőkísérlet is kivitelezhető ebben a témában, ezáltal bizonyítva az impulzus megmaradást és tökéletesen rugalmas esetben a mechanikai energiamegmaradást. A demonstrációs labor honlapján rengeteg videóelemzésre alkalmas felvétel megtalálható.
- Bár a kiskocsik tömegének növelésére kiválóan alkalmas a készletben található vaslap, sokkal szemléletesebb, ha egymásra pakolunk kiskocsikat, és így növeljük meg tömegüket két- vagy háromszorosra.
- Az ütközés folyamatával nem szoktunk foglalkozni az ütközési kísérletek leírásakor, pedig sokszor megdöbbentő lehet a rugalmas deformáció is.

Golflabda ütközése fallal

Labda ütközése emberi arccal

5.20. Forgómozgás dinamikai vizsgálata abroncs-készülékkel

A kísérlet célja

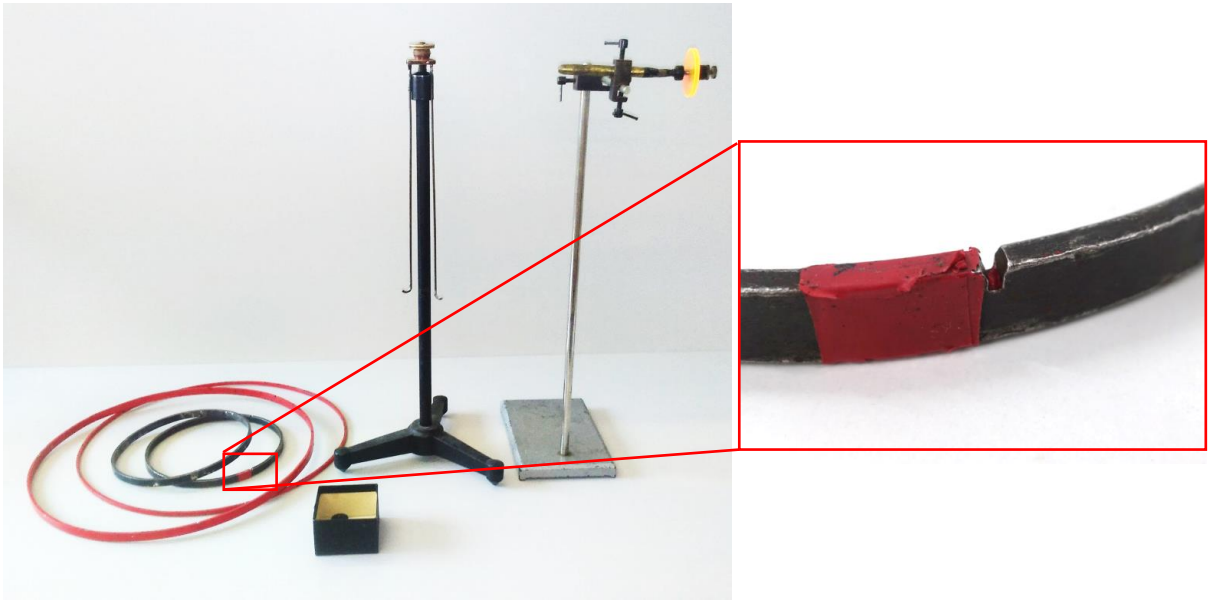
A kísérlet több céllal is rendelkezik. Egyszerűbb esetekben jól szemléltethetjük a forgatónyomaték gyorsító hatását különböző tehetetlenségi nyomatékú testeken. Összetettebb mérési kísérlethez is használhatjuk az összeállítást, ha mért és számított tehetetlenségi nyomaték értékeinket hasonlítjuk össze.

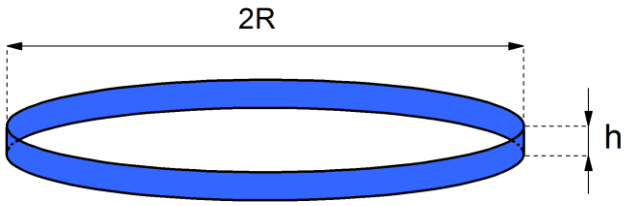
Szükséges anyagok, eszközök

- 4 darab különböző sugarú és tömegű abroncs (kis bevágásokkal)
- háromlábú állvány (tetején tengellyel)
- orsó 3 küllővel, cérnával
- állvány rögzített, könnyen forgó állócsigával
- súlyok (50 g)

Leírás

Az abroncskészülék függőleges tengely körül forgatható egyszerű szerkezet. Állványrúdjának tetején bemélyedés van, ebbe kúposra esztergált végű hengeres, *r* sugarú orsó ültethető. Az orsó peremére három, egymáshoz képest 120°-ban álló, csuklósan rögzített könnyű küllő csatlakozik. A küllőkre abroncs helyezhető.

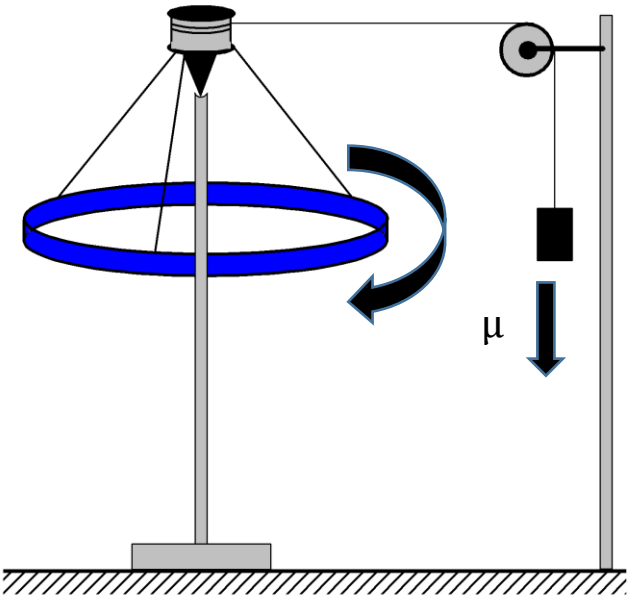




Az eszközhöz négy, azonos vastagságú laposvasból készített abroncs tartozik, melyeken a nagyított ábrán is láthatóan kis bevágások találhatók a küllők beakasztásához. Az abroncsok *R* sugarát, *h* szélességét, ezekből számítható *m* tömegét és *Θ* tehetetlenségi nyomatékát az alábbi táblázat foglalja össze.

	Sugár	Szélesség	Tömeg	Tehetetlenségi nyomaték
1. sz. abroncs	R	h	m	Θ
2. sz. abroncs	2R	h/2	m	4Θ
3. sz. abroncs	2R	h	2m	8Θ

A hengeres orsóra tekert, csigán átvetett fonálra akasztott, μ tömegű test ("nehezék") hatására az abroncs a függőleges tengely körül forgómozgást végez.



Kiegészítés: Az abroncsok belső- ill. külső átmérőjének különbsége kicsi az átmérőhöz képest, ezért szimmetriatengelyükre számított tehetetlenségi nyomatékuk a $\Theta = mR^2$ képlettel határozható meg.

Mérési feladatok

- Helyezzük az *R* sugarú abroncsot a küllőkre! Terheljük az r sugarú orsóra tekert fonál csigán átvetett végét y tömegű testtel, pl. 50 grammos nehezékkel! A nehezék szemmel láthatóan gyorsuló mozgással süllyed, az abroncs gyorsulva forog.
- Mutassuk meg, hogy a nehezék mozgása egyenletesen gyorsuló (ezáltal az abroncs forgása is egyenletesen gyorsuló)! Ehhez a nehezéket ideális esetben négy különböző s magasságból indítjuk. Magasságonként háromszor megmérjük a süllyedés t idejét, átlagolunk és kiszámítjuk az s/t^2hányadost. Ezek jó közelítéssel egyenlők, mely alátámasztja azt az ésszerű munkahipotézist, hogy a mozgás egyenletesen gyorsuló, a gyorsulás $a = 2s/t^2$. Az adatokat célszerű az alábbi táblázathoz hasonlóan kezelni.

	s (m)	t (s)			$t_{átlag}$(s)	$t^2_{átlag}$ (s^2)	$a = \frac{2s}{t^2}\left(\frac{m}{s^2}\right)$	$a_{átlag}\left(\frac{m}{s^2}\right)$
		1	2	3				
1								
2								

- Számítsuk ki az abroncs tehetetlenségi nyomatékát! Vegyük a gyorsulás átlagértékét ($a_{átlag}$), mely egyben az *r* sugarú orsó peremének a kerületi gyorsulása is. Ezért az orsó és a vele együtt forgó abroncs szöggyorsulása:

$$\beta = \frac{a}{r}.$$

A fonál végére akasztott nehezék μ tömegéből, az *a* gyorsulásból a fonalat feszítő *F* erő, továbbá az orsó *r* sugarának ismeretében a rendszerre ható *M* forgatónyomaték - ha a súrlódási erő fékező nyomatékától eltekintünk - kiszámítható:

$$F = \mu(g - a) ill. M = F \cdot r.$$

Végül a forgómozgás dinamikai alapegyenletének felhasználásával az abroncs tehetetlenségi nyomatékát mérési adatinkból kiszámíthatjuk:

$$\Theta = \frac{M}{\beta} = \frac{\mu(g - a)r^2}{a}.$$

Végül mérjük meg az abroncs tömegét és sugarát! Számítsuk ki ezekből az abroncs tehetetlenségi nyomatékát! Hasonlítsuk össze a dinamikai úton kapott eredménnyel!

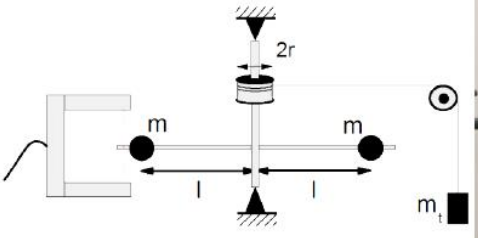
- Cseréljük ki az abroncsot a 2-es, majd a 3-as számúra! Igazoljuk, hogy a tehetetlenségi nyomatéka a 2-esnek 4-szeres, a 3-asnak 8-szoros. Ehhez elég egy magasságon a süllyedési időket leméri!

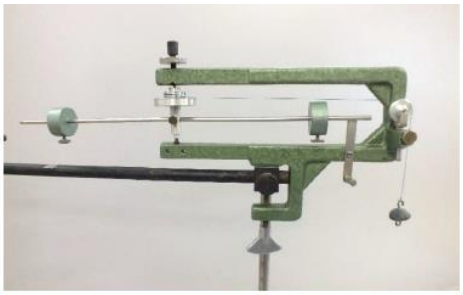
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen tényezők vezethettek a mért és számított tehetetlenségi nyomaték értékek közötti eltéréshez?

Módszertani kiegészítések

- Az alsó ábrán látható egy, a régi tanszer kereskedelemből jól ismert kísérleti eszköz. A fent leírt méréssorozat természetesen ezzel is elvégezhető. Azzal a különbséggel, hogy itt az m tömegű súlyok tengelytől mért távolságát lehet változtatni.





5.21. Gyorsulásérzékelő szenzor helyének meghatározása az okostelefonban

A kísérlet célja

A gyorsulásérzékelő szenzor helyének meghatározása az okostelefonban. Körmozgás dinamikai leírásának gyakorlása.

Szükséges anyagok, eszközök

- okostelefon
- Androidos operációs rendszer esetén Sensor Kinetics nevű program (vagy más gyorsulásmérő program)
- Lemezjátszó

Leírás

A telefont fektessük rá a lemezjátszóra úgy, hogy a gyorsulásmérő program vagy csak *x*, vagy csak *y* tengely mentén mutasson gyorsulást. Ezt úgy lehet beállítani, hogy először a mobiltelefon egyik sarkát a forgáscentrumba helyezzük. Indítsuk el a mérőprogramot, majd a lemezjátszót! Ha az eszköz nagyon kicsi gyorsulást mutat *x*, és *y* irányban is akkor az ellentétes csúcsot válasszuk. Ezután forgás közben a rövidebb oldala mentén csúsztassuk el a mobilt addig, amíg az *x*, vagy *y* tengely mentén már 0 a gyorsulás. Ekkor a nem nulla gyorsulású tengely biztosan egy vonalba esik a lemezjátszó közepétől a szenzorig húzott egyenessel. Ekkor már tudjuk, mely egyenes mentén kell keresni a szenzort. A középponttól mért távolságot ismert szögsebességű forgatás alapján számolhatjuk a mért centripetális gyorsulásból.

Feladatok

- Mérjük meg a gyorsulást a lemezjátszóra helyezett okostelefonnal a lemezjátszó két különböző fordulatszáma mellett (a lemezjátszóra írt fordulatszám általában fordulat/perc egységekben van).
- A mért adatokból határozzuk meg a gyorsulásérzékelő szenzor pontos helyét.

Módszertani kiegészítések

- Ezelőtt a kísérlet előtt mindenképpen érdemes elvégezni az 5.6. pontban leírt kísérletet.

5.22. Kísérletek a tehetetlenségi erőkre

A kísérlet célja

A gyorsuló vonatkoztatási rendszerekben ható erők hatásának demonstrálása.

a) Transzlációs tehetetlenségi erő bevezetése

Szükséges eszközök

- Fonál
- Nehezék

Leírás

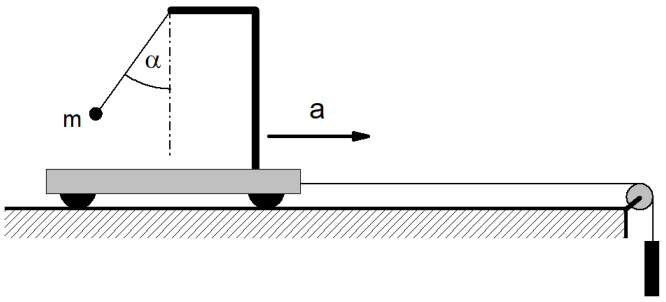
Körülbelül fél méter hosszú fonál egyik végére erősítsünk nehezéket, másik végét fogjuk a kezünkbe, és lógassuk le ingaként. Gyorsítsuk a kezünket közel egyenletesen, egyenes vonalban és figyeljük meg az inga állását!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Írjuk le jelenség magyarázatát nyugvó koordináta rendszerből szemlélve!
- Írjuk le jelenség magyarázatát a mozgó kezünkhöz rögzített koordináta rendszerből szemlélve!

Módszertani kiegészítések

- Egyenletes gyorsulás és jobb láthatóság érhető el a következő ábrán látható elrendezést használva. Ennek összeállítása azonban nagy helyet és nagyméretű eszközöket igényel, hiszen egyenletes, viszonylag nagy gyorsulás kell és az inga is hosszú.



- Gyorsuló koordináta rendszerből szemlélve érdemes kihangsúlyozni, hogy onnan egy olyan inga látszik, ami nyugalmi állapotában ki van térülve. Viccesen említhető, hogy a kezünkre frissen költöző kis „Newton” nem érti mi történik, ezért vezet be egy „fiktív”, de számára valósan hatni látszó erőt, hogy az általa kitalált törvények (legalább egy része) új lakóhelyén is érvényben maradjanak.

b) Centrifugális erő bevezetése

Szükséges eszközök

- Fonál
- Nehezék

Leírás

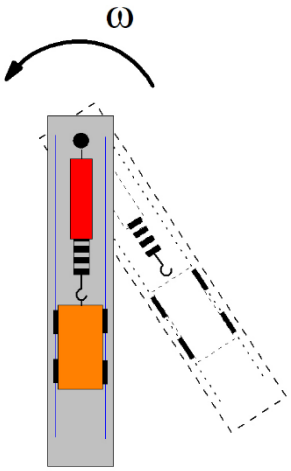
Körülbelül fél méter hosszú fonál egyik végére erősítsünk nehezéket, másik végét fogjuk a kezünkbe, és lógassuk le ingaként. Forogjunk körbe saját tengelyünk körül egyenletesen és figyeljük meg az inga állását!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Írjuk le jelenség magyarázatát nyugvó koordináta rendszerből szemlélve!
- Írjuk le jelenség magyarázatát a mozgó kezünkhöz rögzített koordináta rendszerből szemlélve!

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet még szemléletesebb (és kevesebb absztrakciót igénylő) bemutatásához forgatógép segítségével, forgassunk meg függőleges tengely körül (azaz vízszintes síkban) egy sínt. Ennek tengelyéhez egy rugós erőmérőn keresztül csatlakoztassunk egy kiskocsit, ami a sínben tud futni. Forgassuk a sínt, akkor a rugós erőmérő erőt jelez, de látható, hogy a kiskocsi nem mozog a sínhez viszonyítva.



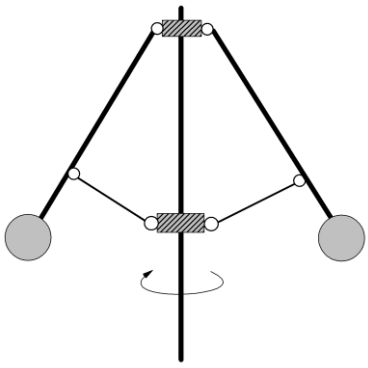
c) Fordulatszám-szabályozó modell működtetése kézi forgatógéppel

Szükséges anyagok, eszközök

- kézi forgatógép
- fordulatszám-szabályozó

Leírás

A forgatógépbe rögzített ω szögsebességgel forgó "centrifugál-szabályozó" modell l hosszúságú könnyű rúdjai akkora φ szöget zárnak be a tengellyel, amely mellett az m tömegű golyókra ható erők $mg \cdot tg\varphi$ eredője a golyók körpályán mozgásához szükséges $m\omega^2 l \cdot sin\varphi$ centripetális erővel lesz egyenlő. (A leírást most nyugvó koordinátarendszerből adtuk meg.)



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Keressünk olyan egyszerű alkalmazást, ahol ez az eszköz ténylegesen szabályozhatja az adott rendszer fordulatszámát!

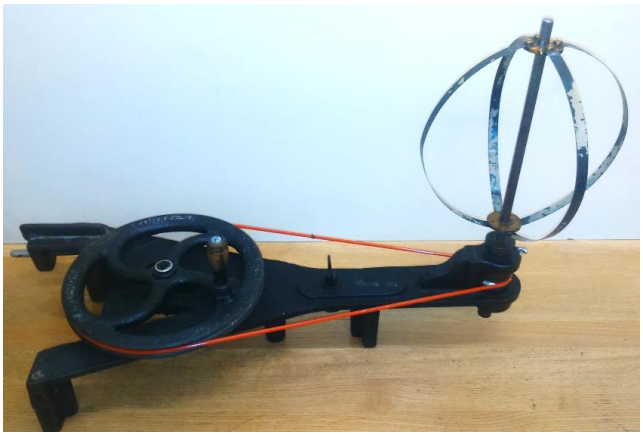
- Írjuk le jelenség magyarázatát a szabályzóval együtt forgó koordinátarendszerből szemlélve.

d) Rugalmas abroncs forgásakor fellépő deformáció bemutatása kézi forgatógéppel

Szükséges anyagok, eszközök

- kézi forgatógép
- rugalmas abroncs

Leírás



Rögzítsünk kézi forgatógépbe rugalmas abroncsot, és forgassuk meg! Az abroncs belapul. Az egyes tömegelemekre ható centrifugális erők ugyanis addig deformálják az abroncsot, amíg ennek következtében fellépő rugalmas erők a centrifugális erőkkel egyensúlyt nem tartanak. (A magyarázathoz az eszközzel „együtt forgó" koordináta-rendszert választottunk.)

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Írjuk le jelenség magyarázatát nyugvó koordináta rendszerből szemlélve!

e) Forgó pohárban kialakuló folyadékfelszín megfigyelése

Szükséges anyagok, eszközök

- kézi forgatógép
- befogóval rendelkező pohár

Leírás

A szimmetriatengelye körül forgó pohárban lévő víz felszíne forgási paraboloid alakot vesz fel. Ez abból következik, hogy a forgó koordináta-rendszerben nyilvánvalóan nyugalomban lévő folyadék felszínének mindenütt merőlegesnek kell lennie a rá ható erők (a nehézségi- és a centrifugális erők) eredőjére.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsen oldalnézeti ábrát, melyben a vízfelszín egy adott kis darabjára berajzolja az
  a) gyorsuló és
  b) nyugvó vonatkoztatási rendszer szerint ható erőket!
  Magyarázza, miért különböző a két „erőrendszer”!

f) Söröspohár függőleges síkú forgatása váll körül

Szükséges eszközök

- műanyagpohár, kis vödör, vagy befőttes üveg
- valamilyen veszélytelen folyadék (pl. víz)

Leírás

A műanyagpohárba, kis vödörbe, vagy befőttes üvegbe töltsünk kb. negyedéig vizet. Fogjuk meg a száját öt ujjal felülről, majd a lehető legnagyobb sebességgel forgassuk meg a tartó karunkat a vállunk körül függőleges síkban – természetesen a pohárral együtt!

A műveletet egy fizikakedvelő diák szemlélteti az alábbi videón. Ha minden jól sikerült, a kezdeti víz teljesen a pohárban maradt.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Adjon magyarázatot a jelenségre gyorsuló és nyugvó koordináta-rendszerben egyaránt!

Módszertani kiegészítések

- Középiskolában jelenleg még emelt szinten sem előírás a gyorsuló koordinátarendszer oktatása, így legtöbbször nem beszélünk például centrifugális erőről sem. Ennek megfelelően az ebben a fejezetben leírt kísérlteket mindenképpen fakultációra, vagy emelt szintű kiegészítésként ajánljuk. Természetesen tanítható, de ha nem kerül elő, akkor inkább kerüljük a használatát, mert a dinamika témakör kezdetén kialakítandó szemléletet rombolhatja. Ott azt igyekszünk megtanítani, hogy a kanyarodáshoz kell erő és nem a körpályáról való kirepüléshez. A gyorsításhoz-lassításhoz kell erő, s nem az egyenletes haladáshoz.
- A tehetetlenségi erőket azért vezetjük be gyorsuló koordináta rendszerek esetén, hogy a Newton II törvénye (a dinamika alaptörvénye) érvényben maradjon, tehát, például ha látunk egy nyugvó testet, akkor a rá ható erők eredője 0 legyen. Nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy ezek fiktív, azaz nem konkrét kölcsönhatásból származó erők, valamint arról, hogy gyorsuló rendszerekben a tehetetlenség törvénye és a hatás-ellenhatás törvénye nem értelmezhető, még a tehetetlenségi erők bevezetésével sem. A jelenségek magyarázata mindig megadható nyugvó és forgó koordináta rendszerben is. Emellett sokszor nagyban leegyszerűsíti a megoldást a forgó koordináta rendszer használata.

5.23. Foucault-inga modell

A kísérlet célja

A Foucault-inga működési elvének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- Forgatható asztalka és hozzá rögzített drótkeret
- A keret magasságának megfelelő inga
- forgató szíj

Leírás

Az ingát hozzuk lengésbe úgy, hogy ne ütközzön bele a drótkeretbe forgás közben. Forgassuk (ne túl gyorsan) a szíj segítségével az asztalkát és figyeljük meg az inga lengési síkját!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg az inga működését a terem „nyugvó” koordináta rendszerében, valamint a forgó asztalkához rögzített forgó koordinátarendszerben!
- Mi a Foucault-inga jelentősége? Mit és hogyan bizonyítottak a segítségével?

Módszertani kiegészítések

- Az elv legegyszerűbben úgy mutatható be, hogy fogunk egy hosszú ingát a kezünkbe. Térítsük ki és járjuk körbe! Az inga jól látható módon megtartja mozgásának síkját, függetlenül a mi mozgásunktól.
- Foucault-inga modelljét PET-palackokból, és kupakjukat összekötő pálcával is elkészíthetjük. Tegyük ezeket rá egy tálcára, amit az asztalon körbeforgatunk! A modell elkészítését tanulói szorgalmi feladatnak is kiadhatjuk.

5.24. Kísérletek az impulzusmomentum tételre

A kísérlet célja

Az impulzusmomentum (perdület) megmaradásának bemutatása.

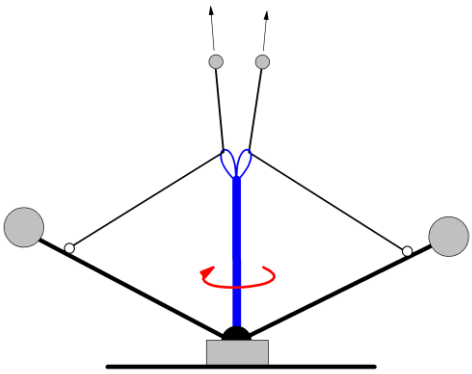
a) Csuklós-karos forgó eszköz tehetetlenségi nyomatéka és impulzusmomentuma közötti összefüggés demonstrálása. ("Piruett eszköz")

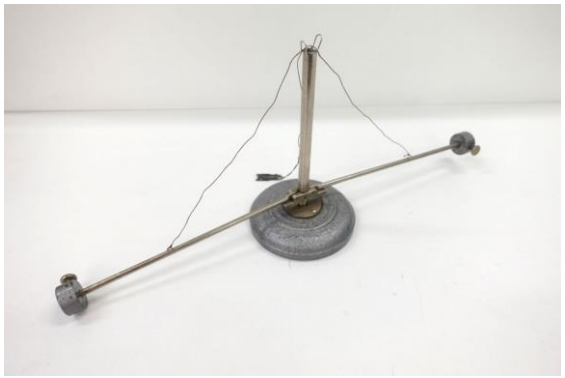
Szükséges anyagok, eszközök

- „Piruett eszköz”

Leírás és feladat

Az impulzusmomentum megmaradásának törvényét egyszerű csuklós karos forgó eszközzel („piruett eszköz”) meggyőzően érzékeltethetjük. Tartsuk az F fonalat függőlegesen, feszítsük lazán, úgy, hogy a két kar vízszintes legyen, majd gyenge mozdulattal lökjük meg az egyik kart! Az eszköz lassan forog. Húzzuk most felfelé a fonalat! A karok végén lévő nehezékek a forgástengelyhez közelebb kerülnek, a rendszer tehetetlenségi nyomatéka csökken, következésképpen szögsebessége nő. A nehezékeket lejjebb süllyesztve a szögsebesség csökken.





b) Forgózsámolyos kísérletek

Szükséges anyagok, eszközök

- forgózsámoly
- 2 kg tömegű súlyok
- ólmozott biciklikerék

Figyelem

A forgózsámolyos kísérletek balesetveszélyeseket lehetnek.

Leírás és feladatok

- A kísérletező személy vegyen kézbe egy-egy 2 kg-os súlyt és üljön fel a forgózsámolyra. Tartsa a súlyokat szorosan a testéhez. Kérje meg a gyakorlatvezetőt, hogy hozza forgásba a zsámolyt, vagy gyengéden lökje el magát. Ha ezután a súlyokat tartó karjait kinyújtja, akkor forgása lelassul. A súlyokat behúzva forgásának szögsebessége nő.

- A nyugalomban lévő forgózsámolyon ülő személy egyik kezében testéhez húzott 2 kg-os súlyt tart. Ha most karját előre nyújtja, majd vízszintes körív mentén oldalra lendíti, akkor a zsámollyal együtt a lendítés irányával ellentétesen elfordul. A súlyt behúzva, majd szorosan teste mellett eredeti helyzetébe hozva, az eljárás többszöri ismétlésével - csupán belső erők segítségével - akár körbe is foroghat.

- Tartson a forgózsámolyon ülő kísérletező függőleges tengelyű biciklikereket a kezében. Ha most a kereket megforgatja, akkor a zsámollyal együtt ellentétes irányú forgásba jön. A kerék forgását megállítva a zsámoly forgása is megszűnik. Vízszintesen tartott tengelyű kereket megforgatva a zsámoly nyugalomban marad. A ferdén tartott tengelyű forgó kerék impulzusmomentumának csak a függőleges komponense érvényesül.
- Adjunk a zsámolyon ülő személy kezébe függőleges tengely körül forgó kereket! A zsámoly - ha előzőleg nyugalomban volt - nyugalomban marad. Ha most a kísérletező a kerék tengelyét 180°-ka1 átfordítja, akkor a kerék forgásával egyező irányú forgásba jön. A kereket innen 90°-ka1 visszafordítva a forgás lelassul. A kereket visszafordítva a forgás megáll.

Módszertani kiegészítések

- A forgózsámolyos kísérletek során kritikus, hogy a zsámoly vízszintes legyen. Erről úgy győződhetünk meg, hogy ráülve nem jövünk forgásba (több különböző irányból is érdemes megpróbálni).
- Az első része a kísérletnek forgózsámoly nélkül is elvégezhető: vegyünk a két kezünkbe 5 kg-os súlyokat. A karunkat kitárva kezdjünk forgásba (mint egy balerina). A karunkat behúzva látványosan felgyorsul a forgásunk, kinyitva újra lelassul.

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan az alábbi szemléletes videókat bemutatni.

Csillagok között – dokkolás jelenet

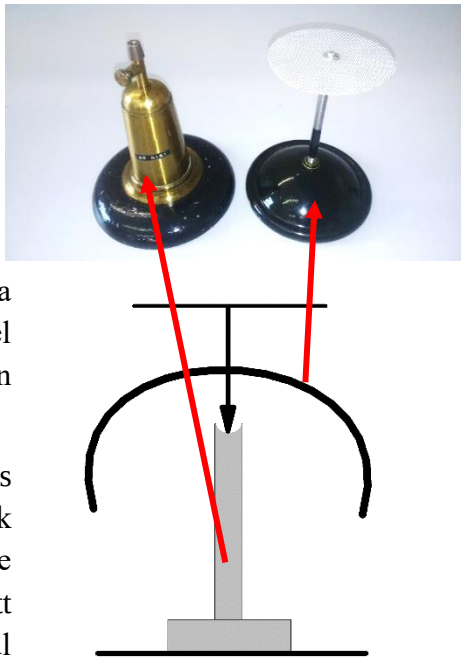
Műkorcsolya forgások

5.25. Kísérletek erőmentes- és súlyos pörgettyűvel

A kísérlet célja

Az erőmentes és súlyos pörgettyű megismerése. A nutáció és precesszió jelenségének demonstrálása.

a) Erőmentes pörgettyű



Szükséges anyagok, eszközök

- harang alakú pörgettyű papír koronggal
- alátámasztó állvány
- Fessel-féle giroszkóp

Leírás és feladatok

Demonstrációs célra alkalmas erőmentes pörgettyű egy a súlypontjában alátámasztott merev, harangszerű, tengellyel ellátott test. Ezt az állapotot a harangból kijövő tengelyen levő csavar állításával érhetjük el.

Hozzuk a pörgettyűt szimmetriatengelye körül gyors forgásba a rácsavart cérna megrántásával, és ültessük alátámasztó állványának fészkére! (A pörgettyű tengelye tetszőleges helyzetű lehet.) Az így magára hagyott pörgettyű a változatlan irányú szimmetriatengely körül forog. Ha előzőleg a pörgettyű tengelyére merőlegesen tárcsát, erre sakktábla mintázatú kockás füzetlapot erősítettünk, akkor megfigyelhetjük, hogy a pillanatnyi forgástengely egybeesik a változatlan helyzetű szimmetriatengellyel.

(A kocka- mintázat a szimmetriatenger körül koncentrikus köröket „rajzol”.) Az impulzusmomentum vektor (minthogy a pörgettyűre külső erő forgatónyomatéka nem hat) állandó irányú, a forgástengely (és most egyben a szimmetriatengely) egyenesébe esik.

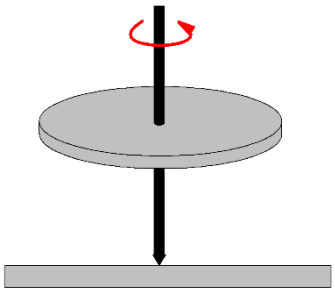
Billentsük ki oldalirányú lökéssel a pörgettyű tengelyét! A kibillentés után a pörgettyű "kóválygó" mozgást végez. Megfigyelhetjük, hogy

1) a pörgettyű szimmetriatengelye egy állandó helyzetű egyenes (a változatlan impulzusmomentum vektor egyenese) körül kúpfelületen mozog. A szimmetriatengelynek ezt a mozgását *nutáció*nak nevezzük.

2) a pillanatnyi forgástengely is kúpfelületet ír le ugyanezen egyenes (az impulzusmomentum egyenese) körül. (Az éppen a pillanatnyi forgástengelyen lévő négyzet "áll" a papírlapon, a többi a gyors forgás miatt elmosódik. Az "álló" négyzet vándorol, az impulzusmomentum vektor papírlappal alkotott döféspontja körül körpályát ír le.)

Az erőmentes pörgettyű tengelyének nutációját (a bekezdés alatt látható) Fessel-féle giroszkóppal is bemutathatjuk. Állítsuk be az ellensúlyt úgy, hogy a giroszkóp erőmentes legyen. Hozzuk a pörgettyűt tengelyére tekert fonal lerántásával forgásba: szimmetria-tengelyének iránya állandó marad. A pörgettyűt meglökve létrejön a tengely nutációja.

b) Súlyos pörgettyű



Szükséges eszközök

- egyszerű pörgettyű vagy csiga
- biciklikerék
- Fessel-féle giroszkóp

Leírás és feladatok

A súlyos pörgettyű legismertebb formája a sematikus ábrán bemutatott játék-csiga. Hozzuk a csigát (tengelyére csavart spárga segítségével) gyors forgásba, és úgy tegyük le az asztalra (vagy fészkes állványra), hogy tengelye ne legyen függőleges. Úgy tűnik, hogy a pörgettyű szimmetriatengelye a külső forgató-nyomaték hatására függőleges tengelyű körkúp palástja mentén mozog. A súlyos pörgettyűnek ezt a mozgását *precesszió*nak nevezzük.

Kis szögsebesség esetében már megfigyelhető, hogy a tengely körkúp menti mozgására egyfajta ingadozás szuperponálódik. Nagy szögsebesség mellett a tengely pszeudoreguláris (látszólag szabályos) precessziót végez.

Kényelmesen vizsgálhatjuk a súlyos pörgettyű precesszióját a Fessel-féle giroszkóppal, ha az ellensúlyt úgy állítjuk be, hogy az alátámasztási pontra forgatónyomatékot gyakoroljon. Ha egy precesszáló pörgettyű tengelyét meglökjük, akkor a precesszióra nutáció szuperponálódik.

Vizsgáljuk a súlyos pörgettyű mozgását abban az egyszerű esetben, amikor az impulzusmomentum és a forgatónyomaték merőleges egymásra! Ezt az esetet pl. úgy valósíthatjuk meg, hogy a vízszintes tengelyű pörgettyű egyik végét spárgára kötjük, és gyors forgásba hozzuk. Ha most a pörgettyűt elengedjük, nem billen le, hanem függőleges tengely körül vízszintes síkban precesszál.

Az előbbi demonstrációt vízszintes tengely körül megforgatott biciklikerékkel (lsd. forgózsámolyos kísérletek) végezhetjük

el, melynek egyik fogantyújára kötelet erősítettünk. (A kísérlet balesetveszélyes, mert az impulzusmomentum növelésére a kereket ólomabronccsal láttuk el.) Vízszintes tengellyel tartsuk a kereket és forgassuk be (ha nem tudjuk egy kézzel megtartani, akkor kérjük a diákok segítségét). Ezt követően feszítsük ki függőlegesen a kötelet és tartsuk erősen. Engedjük el a biciklikerék tengelyét és figyeljük meg a mozgását!

Módszertani kiegészítések

- A középiskolában nagyon ritkán kerül szóba az óvodák egyik legnépszerűbb „oktatási” eszköze, a búgó-csiga és egyéb pörgettyűk. Ezen érdekes eszközök fizikai háttere sokszor nem a legegyszerűbb, így az iskolában maximum jelenség szinten tárgyaljuk. A jelenség viszont nagyon fontos, hiszen az égi mechanikában jelentős szerepe van. Ehhez nyújthatnak segítséget a bemutatott kísérletek, melynek elméleti hátterét is – viszonylag – részletesen bemutatjuk.
- Pörgettyűnek nevezzük általában az olyan merev testet, amely egy rögzített pont körül szabadon foroghat. Pörgettyűmozgást végez a merev test akkor is, ha rögzítetlen tömegközéppontja körül, de ennek mozgásától függetlenül forog. (Pörgettyűmozgást végez utóbbi értelemben pl. az elhajított diszkosz.) Kísérleteinkben szimmetrikus "lapos" pörgettyűkkel foglalkoztunk. Ezek súlypontja a szimmetriatengelyen van, és tehetetlenségi nyomatékuk erre a tengelyre nézve a legnagyobb. Megkülönböztetünk erőmentes- és súlyos pörgettyűt. Az erőmentes pörgettyű rögzített pontjára a külső erők nyomatéka zérus. Ezzel ellentétben a súlyos pörgettyű rögzítési pontjára a külső erők nyomatéka zérustól különböző.
- A jelenség említésénél fontos megemlíteni a föld precesszióját is, melyről sok érdekes szimuláció is található az interneten.

5.26. Fonálinga lengésidejének vizsgálata

A kísérlet célja

A kísérletek célja az inga periodusidejére ismert

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

összefüggés méréssel történő igazolása.

Szükséges anyagok, eszközök

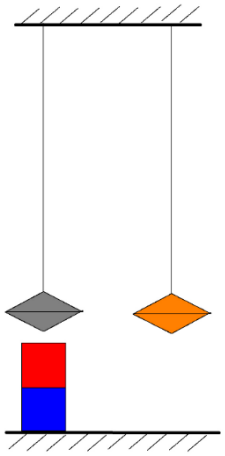
- Bunsen-állvány, dió
- Befogó állítható lemezpárral
- Fonalak
- Különböző anyagú és tömegű nehezékek
- Vonalzó, stopper
- Mágnesrúd

a) A lengésidő összefüggésének vizsgálata az ingatest anyagával, tömegével és a kezdeti kitérésével

Leírás

Függesszünk fel vízszintes rúdra egymás mellé három egyenlő hosszúságú ingát. Legyen az ingatestek alakja és mérete egyforma, de anyaga különböző (pl. réz, vas és fa). Indítsuk egyszerre, azonos kezdeti kitéréssel a három ingát: még sok lengés után is azonos periódusidővel lengenek. (Az egyszerre indítás úgy történhet, hogy a három ingát együtt - pl. egy vonalzóval - kitérítjük, majd szabadon engedjük.)

Ezt követően indítsuk egyszerre őket, de különböző kezdeti kitéréssel. Ez úgy érhető el, ha a kitérítő vonalzót most nem párhuzamosan tartjuk az ingatestek nyugalmi egyenesével. Figyeljünk oda, hogy a kitérés egyik inga esetén se legyen nagyobb 20°-nál.



b) A lengésidő és a nehézségi gyorsulás összefüggésének vizsgálata

Leírás

Állítsunk most a vas ingatest alá (lehetőleg széles) rúdmágnest és ismételjük meg a kísérletet. A vastestű inga lengésideje csökken. Ha a réz, vagy fa alá helyezzük, akkor nem történik változás a lengésidőben. (A nehézségi gyorsulás a Föld adott pontján állandó. Nagyságának változását csak érzékeltetni tudjuk, ha a testre a nehézségi erővel kb. egyező irányú többleterőt fejtünk ki. Ez mintegy "növeli" g értékét.)

c) A lengésidő és az ingahossz összefüggésének vizsgálata

Leírás

Mérjük meg 4 különböző fonálhosszúságú inga lengésidejét (10 teljes lengéshez szükséges időt lemérve). A mérési adatokat táblázatba foglaljuk és grafikusan kiértékeljük. Ügyeljünk arra, hogy a kitérések minden esetben nagyjából azonosak legyenek, és ne legyenek 20°-nál nagyobbak.

Vizsgált mennyiség	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés
l (m)				
$10T$ (s)				
T (s)				
$\sqrt{l}$ ($\sqrt{\text{m}}$)				
$T/\sqrt{l}$ (s/$\sqrt{\text{m}}$)				

A mért eredményeket ábrázoljuk egy egyszerű T-l-diagramon és számoljuk ki a $T/\sqrt{l}$ hányadost is minden esetben. Az egyszerű diagram azt sugallja, hogy a lengésidő és az ingahossz közötti összefüggés egy

$$T = C \cdot \sqrt{l}$$

alakú gyökfüggvénnyel adható meg. A sejtés helyességének igazolására ábrázoljuk az összetartozó értékeket egy T-$\sqrt{l}$-diagramon is. Látható, hogy a pontokra egyenes illeszthető, tehát a keresett összefüggés valóban a fenti függvénytípussal írható le.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan szemlélteti a számított $T/\sqrt{l}$ hányados a T és $\sqrt{l}$ közötti egyenes arányosságot?

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet elvégzése előtt érdemes a diákokkal ötletelni, hogy mitől függhet a periodusidő. Biztassuk őket, hogy érvekkel támasszák alá sejtésüket, vitatkozzanak egymással! A hipotézisek megfogalmazása után lehet a kísérletet elvégezni.
- A kísérletsorozattal jól szemléltethetjük a diákok számára a természettudományos megismerés útját, módszereit. Megtanulhatják belőle, mit jelent a befolyásoló és nem befolyásoló tényező, illetve, hogy fontos, hogy ezek vizsgálata során egyszerre mindig csak egy paramétert változtassunk!
- A kísérlet egyszerűsége miatt kisiskolás korban is elvégezhető, de természetesen a gyökös összefüggés kiértékelése ebben az esetben nem fontos. Az is egy érdekes megállapítás, hogy nem lineáris, vagy egyenes arányosság van közöttük.
- Mindenképpen az ’a’ alfeladattal érdemes kezdeni a kísérletezést, mert az pontos beállítást vár el a tanártól. Ennél a feladatnál nem az ingahosszat próbáljuk egyformára állítani, hanem (mivel tudjuk az eredményt) a lengésidőt. Felfüggesztjük az első ingát, majd mellé lógatjuk a másodikat kb. azonos magasságba, ha nem lengenek szinkronban, akkor finomítunk a hosszán. Utána ugyanezt elvégezhetjük a harmadikkal. Érdemes

rögtön olyan hosszat választani, hogy a ’b’ feladatrészhez szükséges mágnes alájuk férjen, mert így nem kell átszereléssel bajlódni.

- A fonálinga vékony fonálon függő kisméretű test. Egyensúlyi helyzetéből kiterítve, majd magára hagyva – lassan csökkenő amplitúdóval – periodikus mozgást végez. Mozgását csak kis szögkitérések esetén tekinthetjük harmonikus rezgőmozgásnak. Ilyenkor az inga *T* lengésidejére (jó közelítéssel) érvényes

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

formula. A kísérleti vizsgálatakor elvi fontosságú, hogy a szögkitérés 15-20°-nál ne legyen nagyobb.

- Fonálhossz-lengésidő sorozatméréssel a kísérlet alkalmas a nehézségi gyorsulás értékének pontos meghatározására!
- A pontos méréshez fontos, hogy az inga hossza jól definiált legyen. A fonalat függőleges síkú befogó lemezpár közé érdemes szorítani. A lemezpárt rögzítő rudat hosszú Bunsen-állványra lehet erősíteni. Figyeljünk oda, hogy az állvány ne mozogjon a kísérlet során. Ingatestként célszerű kisméretű, kettőskúp alakú testet használni. Ha nem törekszünk a nagyon pontos mérésre, akkor egy rúdra egyszerűen fel is köthetjük a testeket.

5.27. Egy harmonikus rezgőmozgást végző test és egy egyenletes körmozgást végző test árnyékának összehasonlítása

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a harmonikus rezgőmozgás megfeleltethető egy egyenletes körmozgás valamely vetületének. A kísérlet által bemutatott gondolatmenet felsőbb matematika nélkül teszi lehetővé a harmonikus rezgőmozgás összefüggéseinek levezetését.

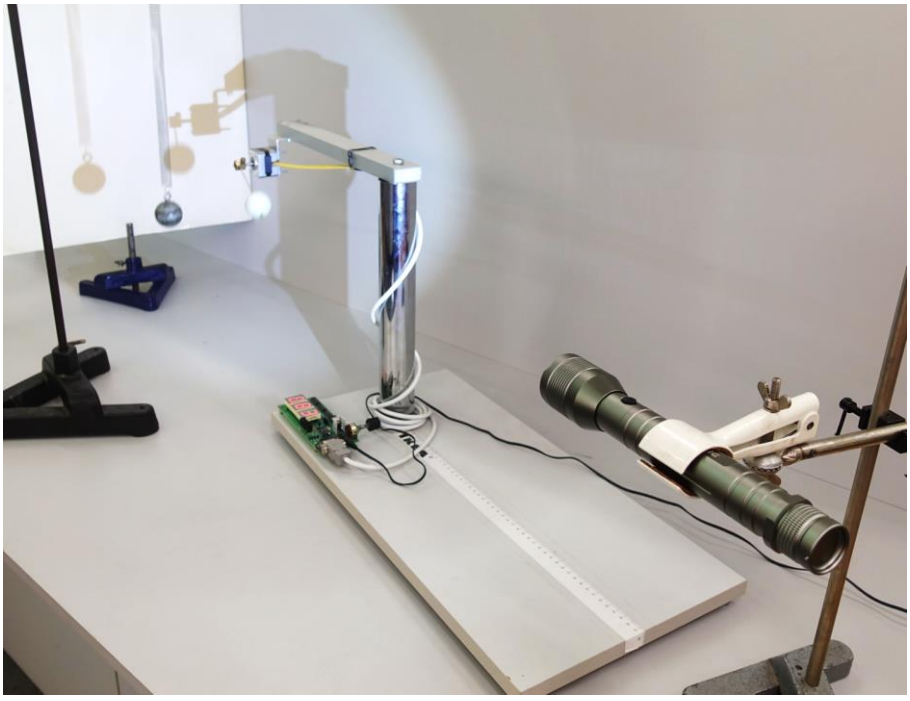
Szükséges anyagok, eszközök

- „A” talpú állvány, befogóval
- Ólomgolyó
- Pingponglabda elektromotorra erősítve, fordulatszám-szabályozó elektronikával
- Fényforrás (zseblámpa)

Leírás

Vetítsük ernyőre a motorhoz erősített pingponglabda árnyékát a körmozgás síkjába eső párhuzamos fénysugarakkal. A labda árnyéka egyenes vonal mentén, két szélső helyzet között ide-oda mozog. Mozgása a rugóra függesztett golyó mozgására - tehát harmonikus rezgőmozgásra - emlékeztet.

Állítsunk a vetítősugarak útjába egy rugón rezgő golyót is. Figyeljük a golyó árnyékának mozgását is. Ha a körpálya sugarát és középpontját a rezgő test amplitúdójával és nyugalmi helyzetével összehangoljuk, valamint a motor fordulatszámát a golyó rezgésidejéhez igazítjuk, akkor a két árnyék együtt mozog. Tehát az egyenletes körmozgást végző test vetülete a kör síkjában fekvő egyenes mentén harmonikus rezgőmozgást végez.



Az árnyékvetítés közelítőleg párhuzamos fénynyalábbal történjék. A szemléletességet fokozza, ha a labda és a golyó kb. azonos méretű.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsünk egyszerű ábrát, mely a körmozgás segítségével bemutatja a harmonikus rezgőmozgás kitérés-idő függvényét (φ_0=0°)!
- Ehhez hasonlóan vezessük le a körmozgás kerületi sebességéből és centripetális gyorsulásából a harmonikus rezgőmozgás sebesség-idő és gyorsulás-idő függvényét. Segítség az ábra készítéshez:

Módszertani kiegészítések

- A kísérlethez speciális eszközökre van szükség, ezért itt megtalálható a kísérlet lassított felvétele:

5.28. Rugóra függesztett test rezgésidejének vizsgálata

A kísérlet célja

A harmonikus rezgőmozgás periódusidejére ismert rezgésidő-képlet igazolása. Ennek segítségével ismeretlen tömegű test tömegének mérése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Bunsen-állvány, dió
- Spirál rugó
- Ismert tömegű egységekből álló tömegsorozat
- Ismeretlen tömegű ólomgolyó (tömege kisebb legyen, mint a teljes tömegsorozaté)
- Stopper

Leírás

A rezgésidőképlet igazolására akasszunk legalább 5 különböző nagyságú tömeget a rugóra és mindegyik tömeg esetén mérjük a rezgésidőt. (Az időmérés hibájának csökkentésére 10 rezgés idejét mérjük). A rezgésidőképlet szerint egy adott rugó esetén a rezgésidő a rezgő tömeg négyzetgyökével arányos:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{D}} \cdot \sqrt{m}$$

A mérési eredményeket foglaljuk táblázatba, majd grafikus ábrázolással igazoljuk a $T \sim \sqrt{m}$ arányosságot.

Vizsgált mennyiség	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés
m (kg)					
$10T$ (s)					
T (s)					
$\sqrt{m}$ ($\sqrt{\text{kg}}$)					
$T/\sqrt{m}$ (s/$\sqrt{\text{kg}}$)					

Akasszuk az ismeretlen tömegű testet a rugóra és mérjük meg a rezgésidőt. Az így mért rezgésidő és az előzőleg kimért grafikon alapján határozzuk meg az ismeretlen test tömegét!

Módszertani kiegészítések

- Kis tömegeknél nagyon kicsi lehet a rezgésidő, így nehéz mérni. Érdemes olyan tömeggel kezdeni, aminél már megbízhatónak érezzük az időmérést.
- A rezgésidő pontosabb mérése érdekében 10 rezgés idejét mérjük, majd átlagoljunk!
- Az időmérést ne az elengedés pillanatában kezdjük! Hagyjuk egy ideig rezegni a testet és mikor már ráhangolódtunk a mozgására, akkor érdemes a stoppert indítani valamelyik szélső helyzetben. Az időmérésbe a diákokat is bevonhatjuk, mindenki mérheti a rezgésidőt a saját telefonja segítségével.

5.29. Rezgő test mozgásának elemzése LabCamera program segítségével

A kísérlet célja

Rezgő test hely – idő, sebesség – idő és gyorsulás – idő grafikonjának elemzése LabCamera program segítségével.

Szükséges anyagok, eszközök

- Spirálrugó és rezgő test (a rugó és a test megválasztása akkor optimális, ha a rezgésidő értéke 1 másodperc körüli. Túl gyors rezgés esetén a program nem tudja folyamatosan követni a mozgó testet, ezért a grafikon hibás lesz)
- A rugó felakasztására szolgáló állvány
- Fotóháttér
- Webkamera
- Számítógép (*LabCamera* mérőprogrammal)

Leírás

Lógassuk fel a súlyt az állványzattal úgy, hogy nyugalmi helyzetébe a fehér fotóháttér közepén függjön. A számítógépen indítsuk el a LabCamera kinematika funkcióját! A webkamerát helyezzük a változtatható magasságú asztalra, mozgassuk úgy, hogy a vízszintesen nézzen a testre. A test fölött és alatt körülbelül 20 cm legyen a képtér. Indítsuk el a felvételt, ezt követően húzzuk lefelé a testet (úgy hogy még a képtérben maradjon), majd hagyjuk magára. A test rezgésbe jön, csillapodása minimális.

Feladatok

- Vegyük fel a rezgőmozgás kitérés - idő függvényét! Határozzuk meg rezgést jellemző paraméterek - amplitúdó (A) és rezgésidő (T) - értékeit!
- Ábrázoljuk egyszerre a rezgés kitérés – idő, sebesség – idő és gyorsulás – idő grafikonját. Vizsgáljuk meg a fázisviszonyokat, valamint igazoljuk a maximális sebesség és gyorsulás értékére megismert $v_{max} = A \cdot \omega$ és $a_{max} = A \cdot \omega^2$ összefüggéseket!

Módszertani kiegészítések

- A LabCamera (WebCam Laboratory) program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 688. oldalán.
- Amennyiben a vizsgált testet nem rugóra függesztve hagyjuk mozogni, hanem kezünkbe véve körzünk vele, bemutathatjuk a program segítségével azt is, hogy az egyenletes körmozgás x és y irányú vetülete harmonikus rezgőmozgás, melyek között negyed periódusnyi fázistolás van.

5.30. A Tracker videóelemző program modellezés funkciójának használata közegellenállással csillapított rezgés esetén

A kísérlet célja

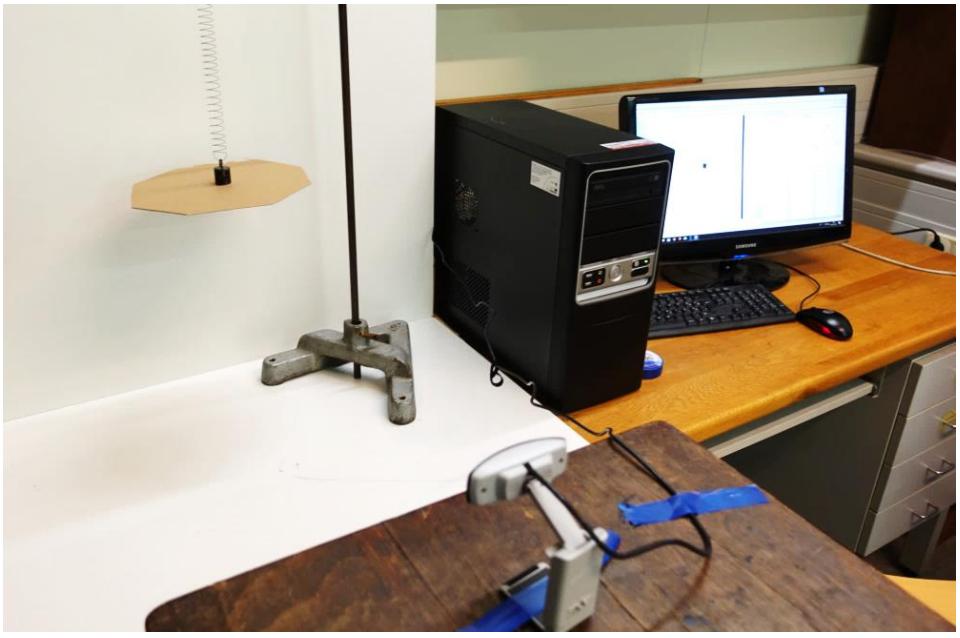
Közegellenállással csillapított rezgőmozgás vizsgálata. A testre ható erők felírása és az alapján a mozgás szimulálása.

Szükséges anyagok, eszközök

- 50 g-os súly, melynek talpához nagy méretű hatszöges karton van rögzítve.
- Spirálrugó
- Állvány
- Webkamera (mobiltelefon vagy rendes videókamera is megfelelő)
- Számítógép (Tracker programmal)
- Fotóháttér

Leírás

Lógassuk fel a súlyt az állványzattal úgy, hogy nyugalmi helyzetébe a fehér fotóháttér közepén függjön. A kamerát állítsuk fel úgy, hogy a vízszintesen nézzen a testre. A test fölött és alatt körülbelül 20 cm legyen a képtér. Indítsuk el a felvételt, ezt követően húzzuk lefelé a testet (úgy hogy még a képtérben maradjon), majd hagyjuk magára. A test rezgésbe jön, de jól láthatóan csillapodik. Amikor már csak néhány centiméter az amplitúdója, akkor állítsuk le a felvételt. Az elkészült videót töltsük be a Tracker programba és elemezzük a mozgását!



Feladatok

- A felvétel alapján értékeljük ki a test hely – idő grafikonját! (Ennél a felvételnél általában csak kézi nyomkövetés lehetséges.) Érdemes a kiértékelést onnan kezdeni, ahol elengedtük a testet. A felvétel alapján határozzuk meg a rezgés periódusidejét, melyből számoljuk ki a szögsebességet!
- A testre ható erők alapján modellezzük a mozgást! Először alkossunk dinamikai modellt! A dinamikus modell megalkotásához a ’Létrehozás’-on belül válasszuk a

’Dinamikai modell’ funkciót (derékszögű koordinátarendszerben). Ekkor az ábra közepén egy modell-építő ablak jelenik meg. A mozgás csak függőleges irányú, így a testre ható erők a következők:

$$\boldsymbol{F_y} = -m\omega^2\boldsymbol{y} - k\boldsymbol{v_y^2}\frac{\boldsymbol{v_y}}{|\boldsymbol{v_y}|}.$$

Az első tag a rugó által kifejtett erő, ami a rezgőmozgást biztosítja. A második a közegellenállás hatását fejezi ki, ami mindig a test pillanatnyi sebességével ellentétes irányú és nagysága a sebesség négyzetével arányos. Az egyenlet abban a koordinátarendszerben érvényes, amelynek origója a rugóra függesztett test egyensúlyi helyzetében van. Ekkor a nehézségi erő kitranszformálódik az egyenletből (részletesen lásd: Tasnádi P., Skrapits L, Bérces Gy.: Mechanika I. 149-150). A mozgás három paraméter: a tömeg (m), a szögsebesség (ω) és a csillapításra jellemző k szám függvénye. A tömeg és a szögsebesség ismert, a csillapítás mértékét kezdetben rögzítse 0,05-re (később finomítható). Az értékek bevitele után kell megadni a kezdőfeltételeket ($t,\ x,\ y,\ v_x,\ v_y$). Az értékek egyszerűen beemelhetők a párbeszéd ablak jobb felső sarkában látható ’Rendszerindító’ funkcióval. Ehhez a ’Rendszerindító’ felírat mellett válasszuk ki a követett tömegpontunkat. Ekkor a program bemásolja a kezdő pillanatban a test mozgását jellemző paramétereket. Ezt követően az erőket kell megadni. Az f_x sorba 0-t kell írni, az f_y-hoz:

$$-m * o * o * y - k * vy * vy * vy/abs(vy).$$

Görög betűket nem kezel a program, így az ω jelet o-val kell egyszerűsíteni. Az erők bevitele után indítsa el a szimulációt! A program lépésenként berajzolja modellezett pont helyét a képernyőre, amit közvetlenül össze lehet hasonlítani a mért adatpontokkal. Módosítsuk a csillapítási tényező értékét, hogy a mért és számolt pozíció minél jobb egyezésben legyen! Az összehasonlítást segíti, ha a jobb oldalon a mért és a számolt mozgás hely – idő grafikonját egyszerre megjelenítjük (grafikonra jobb egérgombbal kattintva az ’Összehasonlítás ezzel’ funkciót kell választani).

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- [emelt szint] Mit nevezünk mozgásegyenletnek? Írjuk fel a közegellenállással csillapított rezgőmozgás mozgásegyenletét és annak analitikus megoldását!

Módszertani kiegészítések

- A Tracker program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 682. oldalán. A program teljesen ingyenes. A mérés megkezdése előtt érdemes letölteni a programot a saját számítógépünkre és kipróbálni a használatát.
- A diákok gyűjtsenek példát közegellenállással csillapított rezgőmozgásra a gyakorlati életből!

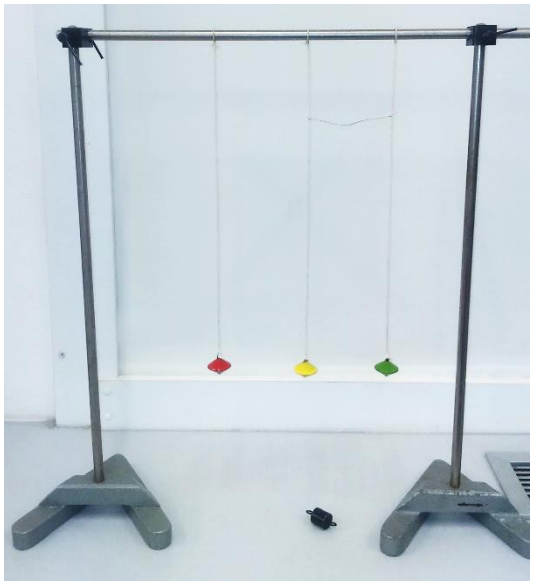
5.31. Csatolt rezgések bemutatása ingapárral

A kísérlet célja

Rezgések csatolásának és energiaátadásának demonstrálása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Állvány ingatestekkel
- Nehezék



Leírás

Kapcsoljunk össze könnyű fonállal két egyenlő lengésidejű fonálingát. Hozzuk egyiket lengésbe. Rövid idő múlva a másik is lengésbe kezd. Lengésének amplitúdója egyre növekszik, maximumot ér el, eközben az első inga amplitúdója lassan zérusra csökken. Ezután az ingák szerepet cserélnek.

Az ingák közötti csatolást szorosabbá tehetjük, ha az összekötő fonalat nehezékkel látjuk el. Figyeljük meg, hogyan változik szoros csatolásnál az energiacseréhez szükséges idő.

Figyeljük meg a jelenséget nehezékkel és anélkül, illetve az összekötéssel párhuzamos és arra merőleges kitérések esetén is.

Csatoljunk a két ingához egy harmadikat és figyeljük meg, hogyan változik a mozgás!

Módszertani kiegészítések

- A csatolt ingák bemutatása a hullámmozgás bevezetésére is szolgálhat.
- Magasabb szinten érdemes a kísérlethez kapcsolódóan szemléletes videót bemutatni: 72 metronóm szinkronizálása

5.32. Rezgéscsatolás bemutatása Wilberforce-ingával

A kísérlet célja

A rezgéscsatolás egy rendkívül látványos példán történő bemutatása. A jelenség során egy „test” különböző lehetséges rezgései közötti csatolást láthatjuk.

Szükséges anyagok, eszközök

- Tükrös állvány kémcsőbefogóval
- Dugós végű spirálrugó (a dugót kell a kémcsőbefogóba tenni)
- Wilberforce-ingatest

Leírás

A Wilberforce-inga egy lágy csavarrugóból és a ráakasztott speciális testből áll. A rugónak azért kell lágynak lennie, hogy a hosszanti rezgés mellett viszonylag nagy amplitúdójú forgási (csavarirányú) rezgésbe is hozható. Ez úgy ellenőrizhető, hogy a felfüggesztett rugót az ingatestnél fogva hosszának változtatása nélkül elcsavarjuk. Ha kis erőkifejtéssel két teljes fordulatot tudunk csavarni a rúgón, akkor megfelelő lehet.

A Wilberforce-ingát úgy kell elkészíteni, hogy a hosszanti és a forgási rezgés sajátfrekvenciája közeli legyen. Ebben az esetben a két rezgésforma csatolódni tud. A csavarás nélkül kitérített és elengedett test hosszanti rezgései úgy csillapodnak, hogy közben egyre növekvő forgási rezgésbe jön. Ezután a folyamat fordított irányban is megismétlődik.

Módszertani kiegészítések

- A Wilberforce-inga működésének leírása rendkívül nehéz, középiskolai szinten lehetetlen. Érdemes csak jelenség szinten foglalkozni vele.

5.33. Kényszerrezgés és rezonanciajelenség bemutatása ("rezonancia kocsi")

A kísérlet célja

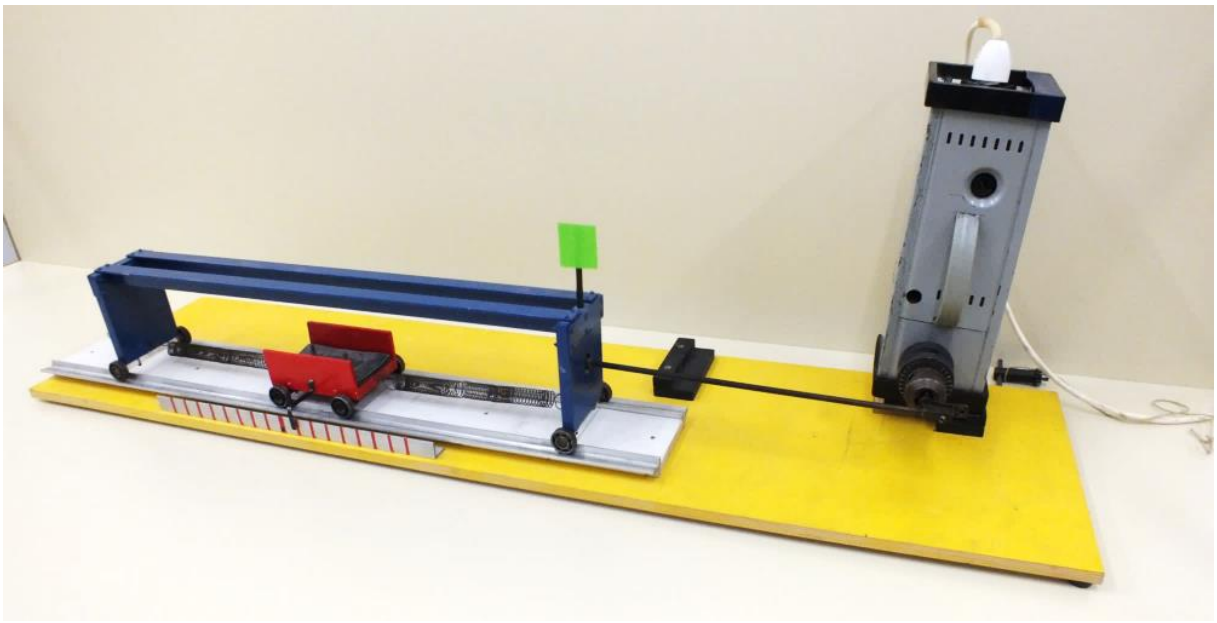
A rezonancia rendkívül érdekes, látványos jelenségének bemutatása, mennyiségi viszonyainak érzékeltetése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Rezonancia kocsi szett

Leírás

Az ábra a kényszerrezgés és a rezonancia-jelenség bemutatására alkalmas egyik összeállítást mutatja. A sínre állított kocsi két rugóval egy ugyanazon a sínen gördülő kerethez van csatlakoztatva. A keretet változtatható fordulatszámú motor egy excenteren keresztül kis amplitúdójú rezgésbe hozza.



A keret amplitúdója állandó, frekvenciája a motor fordulatszámával egyenlő. A keret rezgése gerjeszti a kocsit.

Kezdetben a fordulatszám szabályozót állítsuk minimumra, majd kapcsoljuk be a motort. Figyeljük meg a kiskocsi rezgésének amplitúdóját, valamint a keret és a kocsi egymáshoz viszonyított fázisát. Növeljük a motor fordulatszámát és figyeljük meg az amplitúdó és a fázis változását. Egy idő után azt tapasztaljuk, hogy a kocsi olyan nagy amplitúdóval rezeg, hogy szinte kiszakad a keretből (rezonanciakatasztrófa). Ekkor hirtelen maximumra kell a fordulatszámot tekerni. Figyeljük meg ebben az állásban is a kiskocsi rezgésének amplitúdóját, valamint a keret rezgéséhez képesti fázisát.

Bizonyítsuk be, hogy a kiskocsi amplitúdója akkor maximális, amikor a gerjesztő frekvencia megegyezik a kiskocsi sajátfrekvenciájával. Ehhez rögzített keret (álló motor) mellett térítsük ki a kiskocsit és stopperrel "mérjük" meg a kocsi rezgésének periódusidejét. Ezután keressük meg a motornak azt a fordulatszámát, melyen a kiskocsi kitérése maximális. Ekkor kapcsoljuk ki a motort. Sajnos a motorról nem lehet leolvasni közvetlenül a frekvenciát, ezért ehhez a kocsit le kell csatlakoztatnunk a keretről, és stopperrel mérni a periódusidőt. A mért adatok alapján bizonyíthatjuk a fenti állítást.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mondjunk két-három példát a rezonancia jelenségére a gyakorlati életből! Mikor káros, mikor hasznos a rezonancia?
- Mi a rezonancia-katasztrófa? Mikor következik ez be?

Módszertani kiegészítések

- A leglátványosabb példa a jelenségre a Tacoma-híd katasztrófája. Ezzel kapcsolatban arra a finomságra mindenképpen érdemes felhívni a figyelmet, hogy ott természetesen nem a periodikusan változó szél hozta lengésbe a hidat (ez például a wikipédián is hibásan szerepel). Természetellenes lenne egy hosszú időn keresztül periodikusan ingadozó szélerősség. A közel egyenletes szélben a híd mögött keletkező örvények periodikus leválása okozta a rezonanciát. Itt egy magyar vonatkozás is megemlíthető, hiszen ezt Kármán-féle örvénysornak nevezzük (Kármán Tódor után).

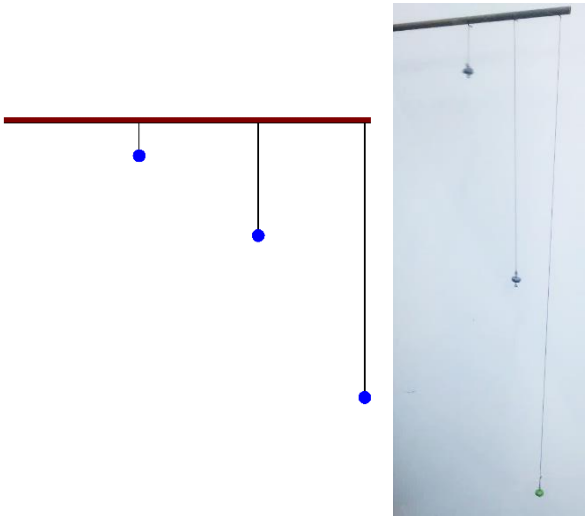
5.34. Rezonancia trükkös bemutatása ingákkal

A kísérlet célja

A rezonanciajelenség és a matematikai inga alapvető tulajdonságának szemléltetése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Rúd
- Három különböző hosszúságú inga



Leírás

Függesszünk fel három különböző hosszúságú ingát egy rúdra az ábrának megfelelően. Érdemes körülbelül 1, 4 és 9 egység hosszúságú ingákat választani. Ha a rudat különböző frekvenciával rezgetjük oldalra, vízszintes síkban, akkor a frekvenciától függően más-más inga fog lengésbe jönni.

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet bemutatható bűvésztrükként: kis gyakorlás után rá lehet hangolódni, hogy milyen frekvenciájú rezgetés mozgatja meg az egyes ingákat, anélkül, hogy a másik kettő lengésbe jönne. Kis ügyességet igényel, de az is megoldható, hogy a rúd mozgása észrevehetetlen legyen. Mutassuk be a kísérleti eszközt az osztálynak, vezessük fel úgy, hogy a gondolat erejével bármelyik ingát mozgásba tudjuk hozni. Ezt követően, kérjük meg a diákokat, hogy válasszák ki bármelyik ingát, amit lengetni szeretnének. Lengessük meg nekik néhányszor a kívánt ingát, majd magyarázzuk meg a jelenséget.
- A kísérlet egy másik iskolai változata a következő: Vízszintesen, lazán kifeszített kötélre két egyforma hosszú, egy náluk rövidebb és egy náluk hosszabb ingát függesztünk fel tetszőleges sorrendben. Térítsük ki az egyik ingát és hagyjuk magára. Figyeljük meg a többi inga mozgását! Azt láthatjuk, hogy csak az egyforma ingák között jön létre csatolás, csupán azok fogják belengetni egymást. A másik kettőt hiába indítjuk el, illetve az egyforma ingák sem indítják el a tőlük különböző hosszúságúakat.

5.35. Rezgések összegzése: két, hanggenerátorral keltett rezgés összegzése oszcilloszkóppal (egyirányú és egymásra merőleges rezgések)

A kísérlet célja

Oszcilloszkóp segítségével egyirányú és egymásra merőleges hullámjelek összegzése.

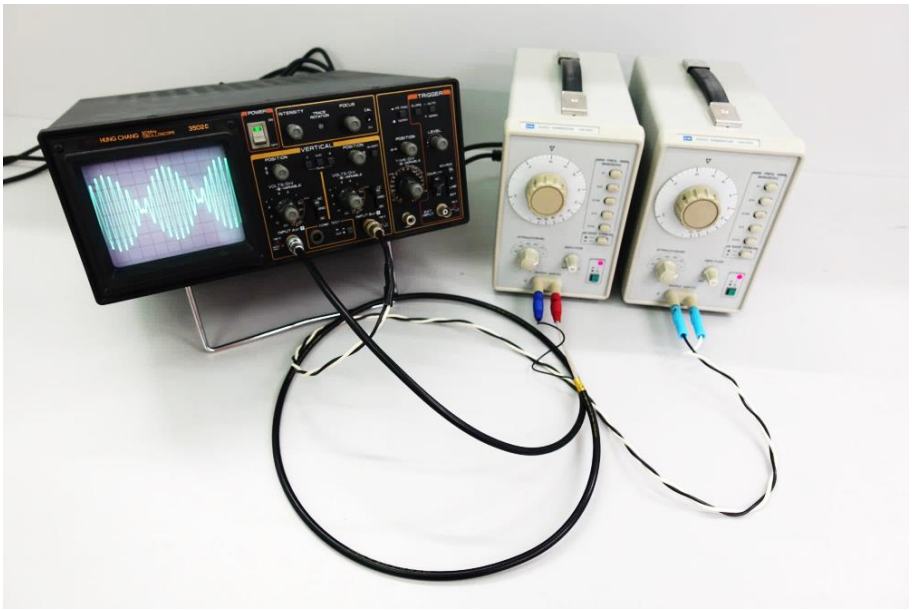
Szükséges anyagok, eszközök

- Két folytonosan szabályozható hanggenerátor
- Oszcilloszkóp
- Két oszcilloszkópra csatlakoztatható kábel

Leírás

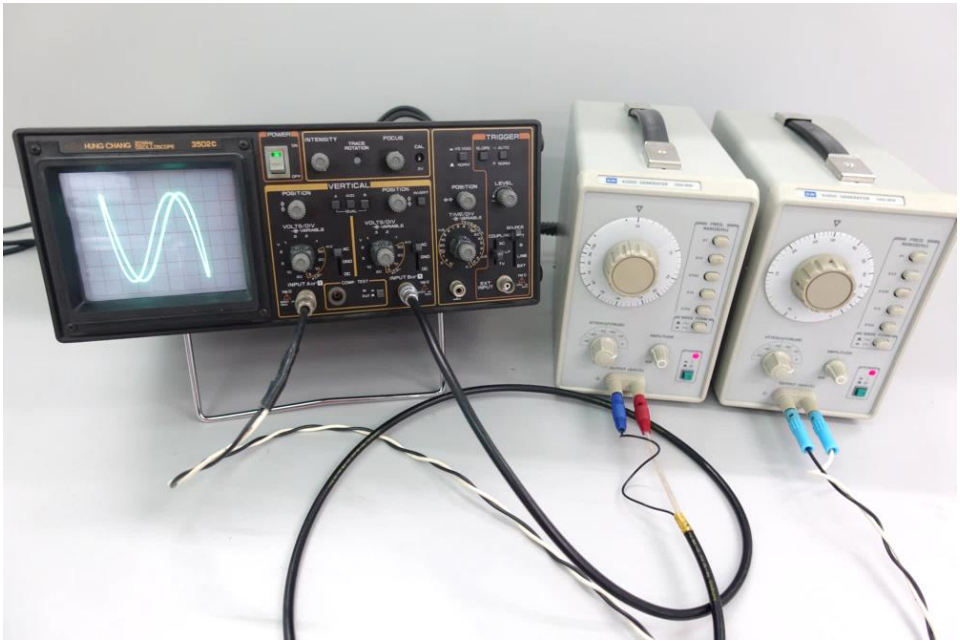
Az egyirányú- és a merőleges rezgések eredőjét oszcilloszkópon is megfigyelhetjük. Az összegzendő rezgéseket hanggenerátor szolgáltathatja. (A hanggenerátor 20 Hz és 20 kHz között folytonosan változtatható frekvenciájú szinuszos feszültségforrás. Jelének amplitúdója (feszültsége) – megfelelő határok között – szabályozható.)

Vizsgáljuk először az egyirányú rezgések eredőjét. Adjuk előbb az egyik, majd a másik generátor egymástól eltérő frekvenciájú jelét az oszcilloszkóp két függőleges bemenetére. (Amplitúdóikat úgy szabályozzuk be, hogy az eredő rezgés képe majd ráférjen a képernyőre.)



Kössük a két generátort az oszcilloszkópra és az ADD gombbal adjuk össze őket. Figyeljük meg az eredő rezgés feszültség-idő függvényének képét. Állítsunk be azonos amplitúdójú, azonos frekvenciájú összetevőket. Változtassuk az amplitúdók arányát azonos frekvenciák mellett. A csak kissé eltérő frekvenciájú rezgések összegzésekor lebegési jelenséget látunk.

Merőleges rezgések összetételekor az egyik összetevőt (függvénygenerátort) a vízszintes, a másikat a függőleges bemenetre adjuk. A képen látható kapcsolót állítsuk X-Y állásba. Összegezzünk l:l, l:2, 2:3, stb. frekvenciaarányú rezgéseket. Ekkor az ismert Lissajous-görbéket láthatjuk. Állítsunk elő többféle Lissajous-görbét is.



Vigyázat!

- Az oszcilloszkóp kikapcsolása előtt a TIME/DIV kapcsolót állítsuk vissza, pl. 5 ms állásba (így nem ég ki az oszcilloszkóp közepe hosszú távon sem)!

5.36. A fizikai inga lengésidő-formulájának illusztrálása

A kísérlet célja

A matematikai ingától különböző, de ahhoz sokban mégis hasonlító fizikai inga alapvető tulajdonságainak szemléltetése.

Szükséges anyagok, eszközök

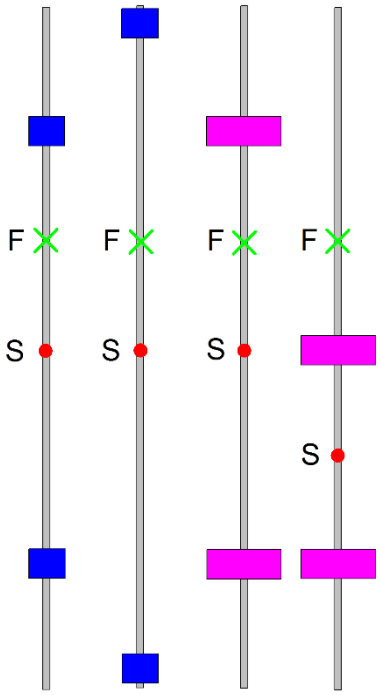
- Tartódeszka
- 2 kg-os nehezék
- Satu
- Fém tengely
- Fapálca
- Henger alakú lyukas nehezékek
- Tűk

Leírás

A fizikai inga lengésideje

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\Theta}{mgs}},$$

ahol Θ az inga forgástengelyre vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka, m a tömege, s a tengely és a súlypont egymástól mért távolsága, g a nehézségi gyorsulás.

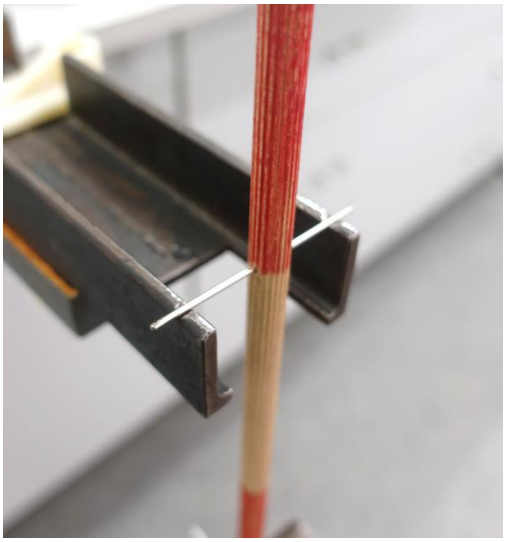


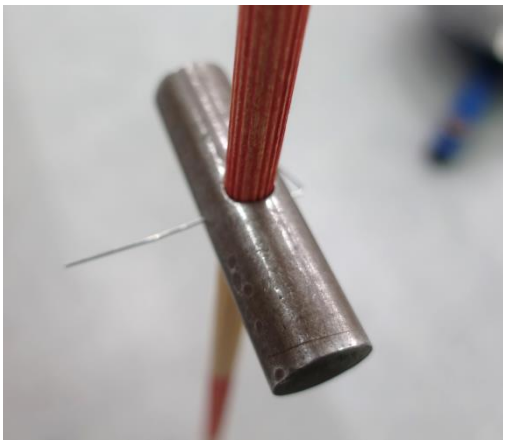
A formula helyességének igazolására szolgáló eszköz – a Pócza-féle inga – egy könnyű pálcából, két egységtömegű és két kétszeres tömegű fémhengerből áll. A pálcán egyenlő távolságokban hét furat van, ide lehet a hengereket vékony huzaldarabbal (vagy gombostűvel) rögzíteni. A pálcával és a hengerekkel különböző tömegű, súlyponttávolságú és tehetetlenségi nyomatékú fizikai inga készíthető. Az inga vastag acéltű-tengely körül lenghet.

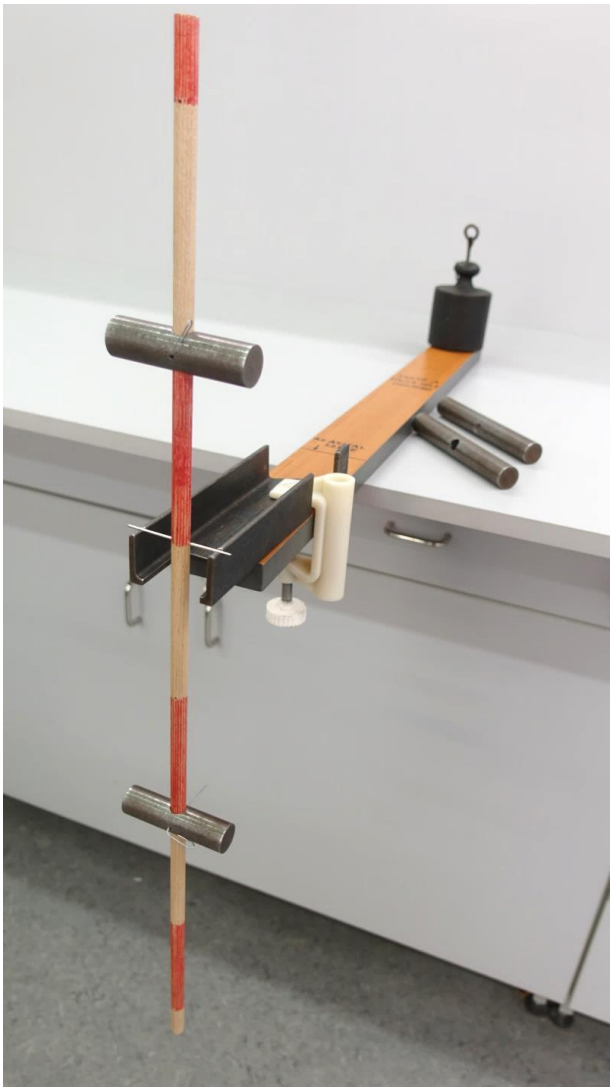
Készítsük el a fenti ábrán vázolt ingákat. (Az ábrán F a forgástengelyt, S a súlypontot jelöli.) Mérjük meg az ingák lengésidejét. Foglaljuk a mért időket táblázatba. Foglaljuk táblázatba az önkényes egységekkel számított lengésidőket is. Végül hasonlítsuk össze a mért lengésidők arányát a számított lengésidők arányával.

Θ (ö.e.)	1	2	2	2
m (ö.e.)	2	2	4	4
s (ö.e.)	1	1	1	2
$T_{várt}$ (ö.e.)	T_0	$\sqrt{2}T_0$	T_0	$T_0/\sqrt{2}$
$T_{mért}$ (s)				

A lengésidő g-től való függését csak szimulálni tudjuk. Ha az inga a vízszintessel szöget bezáró tengely körül leng, akkor lengésideje nagyobb. Olyan, mintha g értéke lecsökkent volna.







5.37. Transzverzális és longitudinális hullámterjedés modellezése

a) „Lépcsőjáró” rugóval

A kísérlet célja

A hullámterjedés két fajtájának szemléletes bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- „Lépcsőjáró” rugó (slinky)

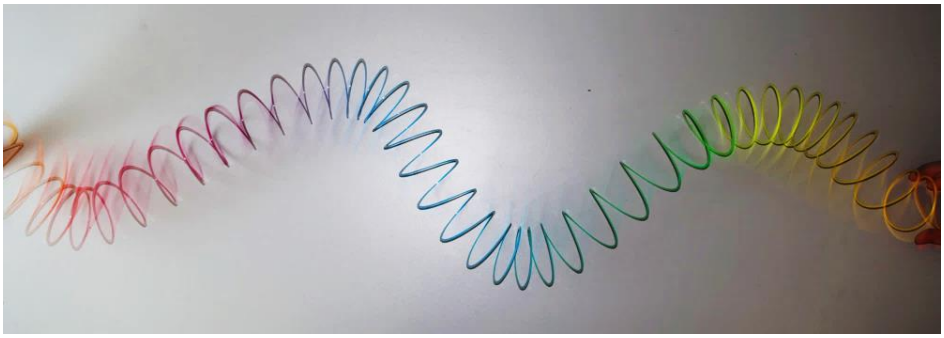
Leírás

Hullámnak a térben és időben terjedő zavart nevezzük. Hullámokat könnyen létrehozhatunk a következő módon: feszítsünk ki egy „lépcsőjáró” rugót (ami egy nagy átmérőjű, laza csavarrugó). Az egyik végét egy gyors mozdulattal merőlegesen térítsük ki és vissza. Ekkor az így létrehozott domb végigfut az egész rugón.

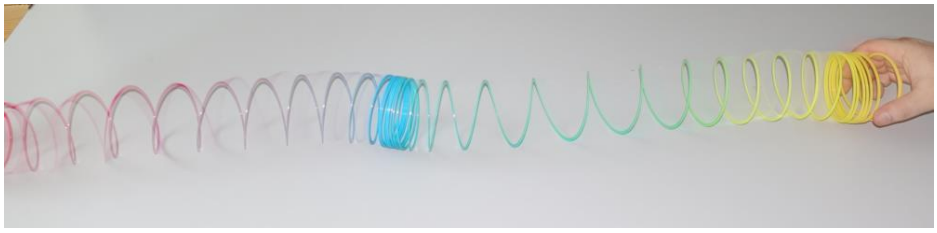
Amennyiben a végét gyors mozdulattal meglökjük, majd visszahúzzuk, akkor a rugó csavarmenetein sűrűsödés és ritkulás vonul végig. A jelenség lényege, hogy a csavarrugó kitérített része valamekkora késéssel maga után húzza a mellette levő, rugalmasan hozzákapcsolt szomszédját és ez vonul végig a teljes testen.

Ha folyamatosan keltjük a hullámokat, akkor azt figyelhetjük meg, hogy az egyes részecskék egy egyensúlyi hely körül rezegnek. Az egyes részek fáziskülönbsége miatt azonban ezt úgy érzékeljük, hogy hullámhegyek és hullámvölgyek, a második esetben pedig ritkulások és sűrűsödések futnak végig a rugón.

Ha a részecskék rezgése merőleges a terjedés irányára, akkor beszélünk transzverzális hullámról. Ekkor láthatunk hullámhegyeket és hullámvölgyeket. Transzverzális például a vízfelszín hullámzása, gitárhúr rezgése, a fény (elektromágneses hullám) és a gravitációs hullámok.



Amennyiben a részecskék rezgési iránya egybeesik a terjedés irányával, akkor longitudinális hullámról beszélhetünk. Ekkor láthatunk ritkulásokat és sűrűsödéseket. Longitudinális például a hang vagy az autópályán fékező kocsisor.



Módszertani kiegészítések

- Gyakori félreértés a hullámokkal kapcsolatban, hogy csak a szinuszosan váltakozó hullámokat tekintjük annak. Sőt gyakran látható, hogy a periodikusan keltett hullámok hatására állóhullám alakul ki és azt nevezi a tanár hullámnak. Fontos kihangsúlyozni, a hullám általános definícióját. Ennek kialakítását azzal is segíthetjük, ha kezdetben mindig csak egy zavart keltünk és azt elemezzük, utána peridikusan is kelthetjük a zavarokat, de igyekezzünk úgy, hogy a csavarrugó végéről ne verődjön vissza. Utána engedhetjük a visszaverődést is és megfigyelhetjük az állóhullámokat.
- A hullám terjedése rendkívül látványos lassítva. A kísérletek lassított (500 fps) felvételei a demonstrációs labor honlapján megtalálhatók.

b) Csatolt ingasorral

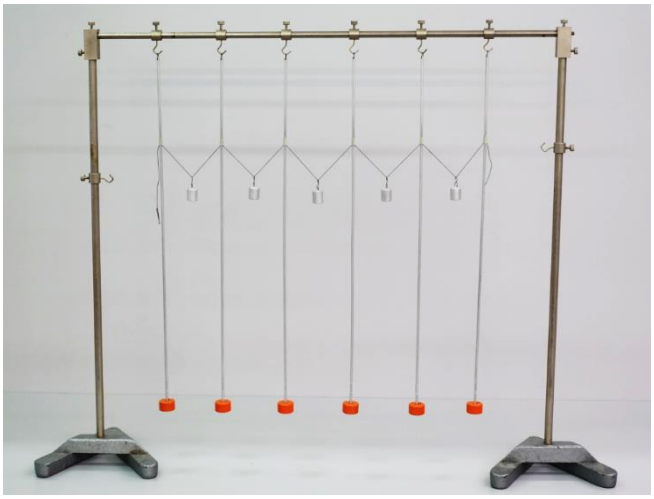
A kísérlet célja

Transzverzális és longitudinális hullám kialakulásának bemutatása. Annak modellezése, hogy a hullám terjedési sebessége hogyan függ az anyagi minőségtől.

Szükséges anyagok, eszközök

- Csatolt ingasor (pl. TANÉRT készlet hullámmozgás demonstrálásához)
- Stopper

Leírás



Mechanikai hullámok keletkezésénél, terjedésénél a közeg részecskéi, térfogatelemei között fellépő rugalmas erők játszanak szerepet. A mechanikai hullámban a rezgésállapot (a rezgés fázisa) és vele a rezgési energia az, ami terjed. A mechanikai hullámok jellegzetességeit, elsődlegesen keletkezésüket és terjedésüket lazán kapcsolódó ingák sorozatából alakított hullámgéppel lehet modellezni. Egyik szélső ingájának merőleges kitérítésével tranzverzális, hosszanti kitérítéssel longitudinális hullámzásba hozható.

Tranzverzális hullámok esetén hegyek és völgyek, longitudinálisok esetén sűrűsödések és ritkulások váltják egymást. A hullámgép ingáinak lengő tömegei a rugalmas anyag részecskéinek egy sorát (egyenként a térfogategységben foglalt tömeg, vagyis a sűrűséget) jelképezik. Az ingákat összekötő fonalakon lógó kis nehezékek a tömegrészecskéket összekötő rugalmas erőket, közvetve tehát a közeg rugalmassági moduluszát képviselik.

Feladatok

- A fonalakon lógó kis nehezékek változtatásával kísérletileg szemléltethető, hogy a rezgés annál rövidebb idő alatt terjed végig az ingasoron, minél nagyobb a nehezékek

tömege, azaz a részecskéket összekötő rugalmas erő. Tehát minél nagyobb a közeg rugalmassági modulusza, annál gyorsabban terjed a hullám.
Térítsük ki az egyik oldalsó ingát merőlegesen (legalább 10 cm-es amplitúdóval), azaz indítsunk transzverzális hullámot. Mérjük meg mennyi idő szükséges, hogy a 4. inga is lengésbe kezdjen.
Az ingákat összekötő alumínium súlyokat cseréljük nagyobbakra (növeljük a rugalmassági moduluszt) és ismételjük meg a mérést.

- A lengő tömegeket változtatva azt figyelhetjük meg, hogy annál lassabban terjed a rezgés a pontsoron, minél nagyobb a lengő tömeg, azaz a közeg sűrűsége.
Az ingák végén található narancssárga súlyok mellé fűzzünk fel még egyet (növeljük a sűrűséget) és ismételjük meg a mérést.

A kísérletet elvégezhetjük longitudinális hullámmal is. Figyeljünk, hogy a kezdő amplitúdó olyan legyen, hogy az ingák közvetlenül ne ütközzenek.

c) Hosszú rugalmas gumiszalaggal

A kísérlet célja

Transzverzális hullám bemutatása. Visszaverődés vizsgálata nyitott és zárt végen. Állóhullám kialakulásának és a polarizáció jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Hosszú (legalább 5 méteres) gumikötél, egyik végén 1-2 méteres madzaggal sorba kötve.

Leírás

A gumikötél azon végét, melyre a madzag van kötve, adjuk egy diák kezébe, majd lazán feszítsük ki az osztályteremben/laborban.

Feladatok

- Határozott mozdulattal üssünk rá felülről a gumikötélre, miközben a diák a gumis végét fogja a szálnak (zárt vég). Az ütés hatására egy völgy fut végig a kötélen, majd visszaverődik. Figyeljük meg, hogy hegyként, vagy völgyként verődik-e vissza! Ismételjük meg a kísérletet csak most alulról üssük meg a gumiszalagot.
- Kérjük meg a diákot, hogy most a madzagot fogva feszítse ki a gumikötelet (nyitott vég). Ezután ismételjük meg az előző kísérletet!
- Nyitott és zárt vég esetén is rázzuk periodikusan a kötelet egyre nagyobb frekvenciával. Figyeljük meg, hogy bizonyos frekvenciánál csomópontok és duzzadóhelyek alakulnak ki.
- A gumiszalagot fűzzük be egy hosszú, egyenes kivágást tartalmazó deszkába. A gumikötelet feszítsük ki, és kör mentén forgassuk az egyik végét. Megfigyelhető, hogy a deszkán való áthaladás után a gumikötél már csak a kivágás iránya mentén rezeg.

Módszertani kiegészítések

- A visszaverődés jelensége gyors, így nehezen látható, hogy ellentétes, vagy azonos fázisban verődik-e vissza a hullám. A kísérletek lassított felvételei (500 fps) a demonstrációs labor honlapján megtalálhatók.
- A kísérlethez kiválóan megfelel a Bunsen-égőkhöz használt gázcsőből 5-8 méter.
- A gumikötél segítségével a pontsoron terjedő hullámok rendkívül sokféle viselkedése, tulajdonsága megfigyelhető, demonstrációs méretekben:
    - hullám visszaverődése szabad, illetve rögzített végről;
    - transzverzális hullám polarizációja, illetve kioltása egy, illetve két réssel;
    - állóhullámok kialakulása, tulajdonságai;
    - a padlóra letett gumikötéllel még a hullámszuperpozíciót/interferenciát is megfigyeltethetjük:

5.38. Állóhullámok keltése szabályozhatóan (súlyokkal) feszített fonálon

A kísérlet célja

Állóhullámok tulajdonságainak megfigyelése. A feszítő erő és a hullámhossz közötti kapcsolat bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

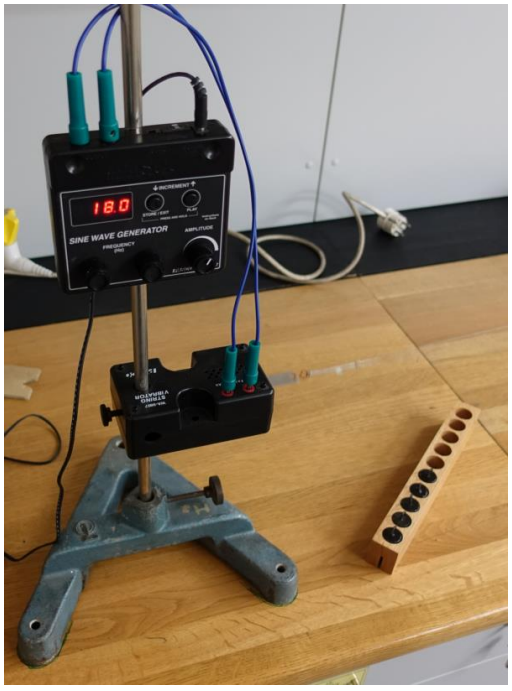
- Függvény-generátor (pl. Pasco)
- Zsinor rezgető (pl. Pasco vibrátor)
- Hosszú rugalmas kötél (5 m)
- Súlysorozat (9 db, 50 g-os)
- 2db Bunsen-állvány
- Állványba fogható állócsiga (befogáshoz egy dió)
- 2 kg-os súly (a csigát tartó Bunsen-állvány leszorításához)

Leírás

Ha a rugalmas közegben egyazon irányba terjedő hullámok másik közeg határáról visszaverődve találkoznak az eredeti hullámokkal, akkor megfelelő frekvencia esetén a hullámok interferenciát mutathatnak. Folyamatos hullámkeltés esetén (megfelelő körülmények között) az interferencia eredményeként a közeg egyes helyeinek kitérése zérus lesz, míg más helyek különböző amplitúdójú rezgést végeznek. Ezt a haladó hullámtól eltérő tulajdonságú alakzatot állóhullámnak nevezzük.

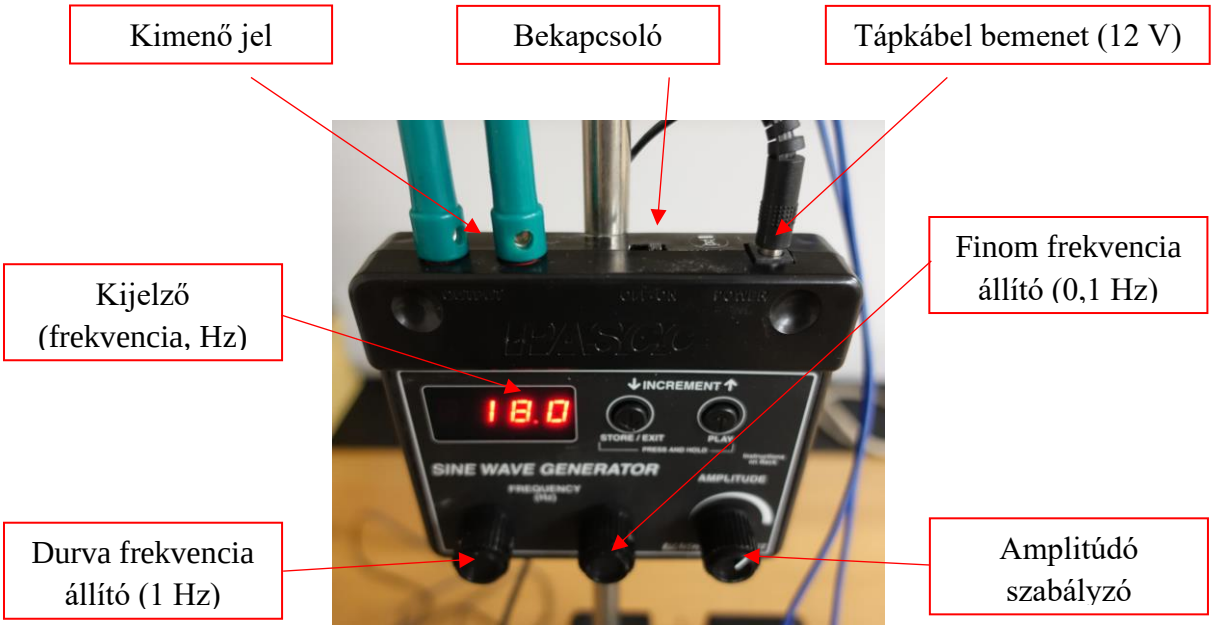
Egy adott hosszúságú gumikötélen a kötélvég megfelelő frekvenciájú mozgatásakor nyugalomban lévő csomópontok és maximális kitéréssel mozgó duzzadóhelyek váltakozását figyelhetjük meg. Azokat a frekvenciákat, amelyeknél az adott eszközön állóhullámok alakulnak ki, a rendszer sajátfrekvenciáinak nevezzük.

Állítsuk össze a képen látható kísérleti összeállítást.



A csigás Bunsen-állványt helyezzük el az asztal egyik szélén, a másik állványt pedig az asztal másik széléhez közel. Rögzítsük a zsineg egyik végét a vibrátor nyelvéhez, vessük át a csigán és terheljük a másik végét súlyokkal. A vibrátor rezgésének frekvenciáját függvénygenerátorral szabályozzuk.

Az ebben az összeállításban használt függvénygenerátor legfontosabb részeit a következő ábra mutatja.



Feladatok

- Állítsuk a függvénygenerátort 10 Hz-re, az amplitúdót középállásba. A zsinór végére akasszunk 1 db 50 g-os súlyt. A lépkedjünk 1 Hz-enként felfelé, míg állóhullám kialakulását nem látjuk. Ekkor finoman változtassuk a frekvenciát úgy, hogy megtaláljuk a maximális amplitúdót Jegyezzük fel a frekvenciát, valamint a duzzadóhelyek és csomópontok számát. Keressünk meg legalább 5 különböző frekvenciához tartozó állóhullámot. Ekkor látható, hogy az *n*-edik sajátfrekvencia az első sajátfrekvencia *n*-szerese. Mivel a hullám zárt végről verődik vissza, a szélén csomópontnak kell kialakulnia. Így az első kialakuló hullám egy félhullám, azaz 1 duzzadóhelye van. A második sajátfrekvenciánál egy teljes hullám alakul ki, 2 duzzadóhellyel, ezután másfél hullám 3 duzzadóhellyel - és így tovább.
  Vigyázat! Sokszor előfordul, ha állóhullám közelében vagyunk, hogy a vibrátor hallhatóan kattog. Ekkor az amplitúdót csökkenteni kell, míg a hang meg nem szűnik!
- Állítsuk az amplitúdó szabályzót középállásba. A zsinór végére akasszunk 4 db 50 g-os súlyt. Állítsunk be a fordulatszám szabályozásával olyan állapotot, hogy a kötél hosszán csupán egy félhullám alakuljon ki. A terhelést az előző négyszeresére növelve azt láthatjuk, hogy megkétszereződik a duzzadóhelyek száma.
  Ennek az az oka, hogy a zsineg feszítettségével (F) a transzverzális hullám c terjedési sebessége a

$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

összefüggésnek megfelelően változik, ahol ρ a zsineg sűrűsége, A a keresztmetszetének területe. A két végén rögzített L hosszúságú zsineg sajátfrekvenciája és a terjedési sebesség között fennáll a

$$f_n = n\frac{c}{2L}$$

összefüggés, ahol n a duzzadóhelyek száma és f_n a hozzá tartozó sajátfrekvencia. Így tehát könnyen belátható az $f_n \sim \sqrt{F}$ arányosság. (A kisebb feszítettség melletti, 1 duzzadóhellyel rendelkező sajátfrekvencia megegyezik a négyszeres feszítettségű rendszer 2-es sajátfrekvenciájával.)

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan meglepő és/de szemléletes videókat bemutatni.

Állóhullám a Volgograd hídon

Gitárhúrok rezgése

5.39. Állóhullámok keltése patkómágnes sarkai között kifeszített, váltóárammal izzított dróton

A kísérlet célja

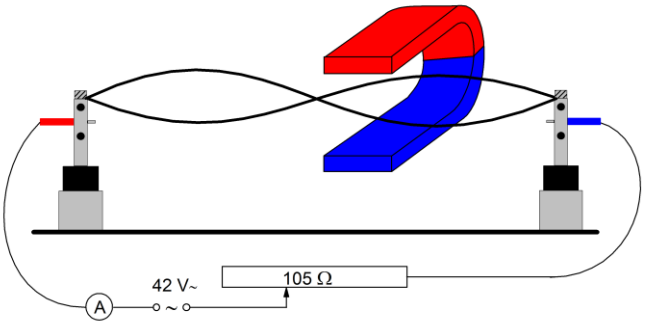
Állóhullám kialakulásának bemutatása. Érdeklődés felkeltése látványos kísérlettel.

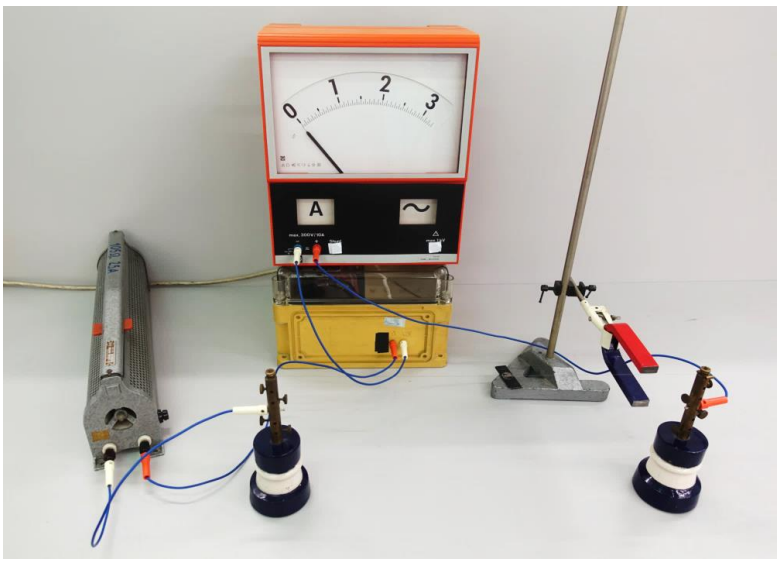
Szükséges anyagok, eszközök

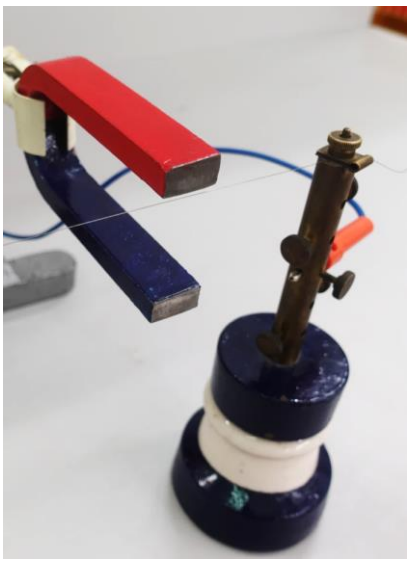
- Transzformátor (42V~)
- Áramerősség mérő
- Változtatható tolóellenállás (105 Ω, 2,5A)
- Röpzsinórok (4 db)
- Patkómágnes
- Bunsen-állvány (+dió)
- Kémcsőfogó
- 2 db drótközpont (Holtz-szorító)
- Kanthal huzal (kb. 50 cm)

Leírás

Rögzítsünk szigetelt szorítóba (Holtz-szorítóba) kb. 50 cm hosszú, 40 Ω/m fajlagos ellenállású Kanthal drótot. Helyezzük a drótot patkómágnes sarkai közé. Csatlakoztassuk a drótot 105 Ω-os tolóellenálláson keresztül 42 V-os váltófeszültségű áramforráshoz (transzformátor). Változtassuk az áramkör áramát addig, amíg a drót izzani kezd (1-1,5 A). Az áramkörbe célszerű árammérő műszert kötni, hogy túl ne lépjük a tolóellenállásra megengedett maximális áramerősségét.







A hálózati frekvencia ütemében változó árammal átjárt vezetőre homogén mágneses térben periodikus erő hat. Az erő iránya merőleges a vezetőre és a *B* mágneses indukcióvonalakra is, nagysága pedig a hálózati frekvencia ütemében változik.

Ha a gerjesztés periódusa megegyezik a drót valamelyik sajátfrekvenciájával, akkor a dróton állóhullámok alakulnak ki. A drótot feszítő erő értékét a szorítók távolításával, illetve közelítésével változtathatjuk: így hangolhatjuk össze a drót sajátfrekvenciáját a hálózati frekvenciával. Figyeljünk oda, hogy a drótközpontoknak csak az elszigetelt alját fogjuk meg, mert 42 V már érezhető bizsergést kelthet a kísérletezőben.

A dróton kialakult állóhullámok duzzadóhelyei és azok környezete a drót részecskéinek mozgása miatt lehűlnek, s csak a nyugvó csomópontok izzanak. Így az állóhullám jól láthatóvá válik. (A jelenség jobban látható, ha a drót háttere sötét, valamint ha besötétítünk a teremben.)

> ***Vigyázat!***
>
> A drót forró, még akkor is, ha éppen nem látható az izzás!

5.40. Húr ("monochord") rezgéseinek vizsgálata

A kísérlet célja

Húr rezgéseinek és hangjának vizsgálata. A hang magasságának függése a húr hosszától és a húr feszítettségétől.

Szükséges anyagok, eszközök

- Háromhúros demonstrációs ”monochord”
- Papírlovasok
- Madártollak

Leírás

A húr rezgéseinek vizsgálatára szolgáló eszköz az ún. monochord. Lényegében egy 80-120 cm hosszú láda (rezonáló szekrény), melynek tetején húr feszíthető ki. Az egyik húrnak (a képen legtávolabbi) az egyik vége egy csavarral meghúzható, másik vége egy csigán keresztül rugós erőmérőhöz csatlakozik. A másik két húr fixen rögzített. A húrok rezgésbe hozott részének hosszát a húr és az alapul szolgáló szekrény közé szorosan elhelyezett ék elmozdításával változtathatjuk. A húrt középen érdemes megpendíteni, hogy a létrejövő hang minél tisztább legyen.

Feladatok

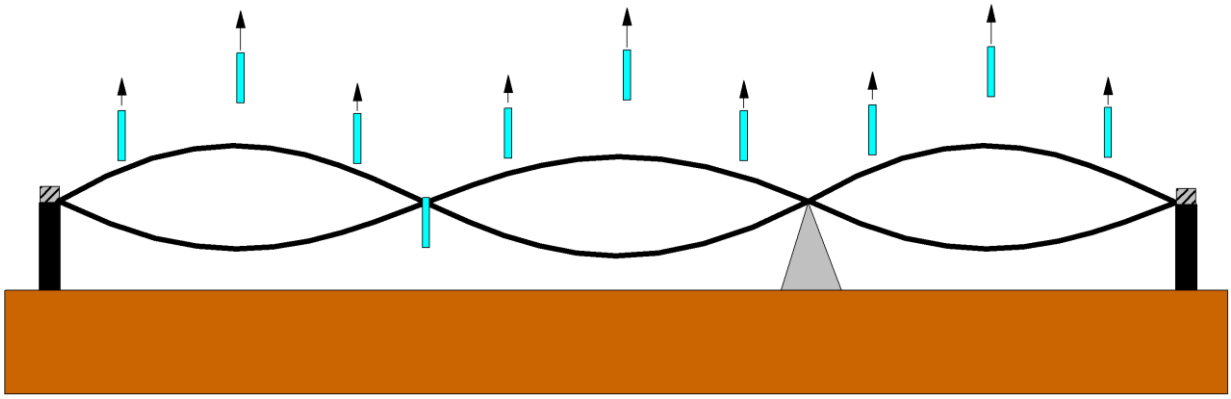
- Változtassuk egy fix húr hosszát az ék segítségével, változatlan feszítőerő mellett. A rövidebb húron rövidebb hullámhosszú hullámok alakulnak ki. Az állandó feszítőerő biztosítja, hogy mindegyik hossz esetén ugyanakkora a hullám terjedési sebessége (c), így a rezgés frekvenciája (f), tehát a hang magassága a
$$\lambda \cdot f = c = \text{áll.}$$
összefüggés értelmében - a csökkenő hullámhossz (λ) miatt - növekszik.
- Adott hossz mellett változtassuk a feszítőerőt a csavar elforgatásával. Ismét figyeljük meg a húron keltett hang magasságának változását. Azt tapasztaljuk, hogy a hang annál magasabb lesz, minél nagyobb a feszítőerő. Ennek az az oka, hogy a húr feszítettségével (F) a hullám c terjedési sebessége a
$$c = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

összefüggésnek megfelelően változik, ahol ρ a zsineg sűrűsége, A a keresztmetszetének területe. A két végén rögzített L hosszúságú húr sajátfrekvenciája és a terjedési sebesség között fennáll a

$$f = \frac{c}{2L}$$

összefüggés, ahol f az alaphang sajátfrekvenciája.
Figyeljünk arra, hogy ne feszítsük túl nagy erővel a húrt, nehogy elpattanjon!

- Érintsük meg gyengén a rezgő húr középpontját egy tollal. Ezzel kioltjuk azokat a sajátrezgéseket, amelyeknek ott nincsen csomópontja. Ilyen a húr alaphangja is. Az ekkor hallott, magasabb hang az alaphang oktávja, mely a fennmaradó rezgések közül a legnagyobb intenzitású hang.
- Monochordon is bemutathatjuk az állóhullámokat. Támasszuk alá az ékkel a húrt hosszának l/3-ad részében. Helyezzünk apró karton lovasokat a húr hosszabb szakaszára. Pendítsük meg a rövidebb húrdarabot. A másik részen lévő lovasok közül csak az nem jön mozgásba (tehát nem esik le), amelyiket csomópontban helyeztük el.



Módszertani kiegészítések

- A kísérlet eredményeit jobban szemléltethetjük, ha Audacity program segítségével ki is értékeljük a hangok spektrumát. Így direkt kapcsolat építhető ki a spektrum és a rezgési módusok között. Az Audacity program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 702. oldalán.

5.41. Pálca (acélszalag), valamint változtatható átmérőjű abroncs rezgéseinek megfigyelése

A kísérlet célja

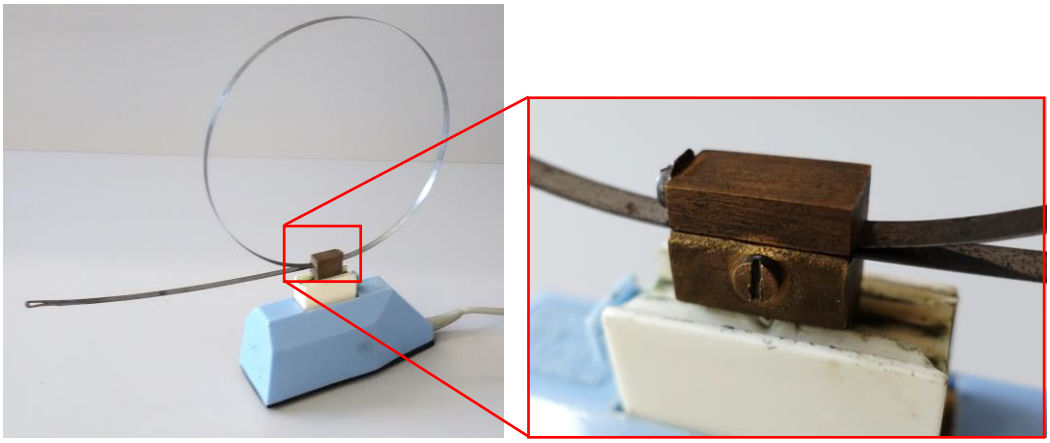
Pálcán és abroncson kialakuló állóhullámok megfigyelése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Masszírozó gép
- Acélszalag (speciális csatlakozó tuskóval)

Leírás

A kísérletet a kereskedelemben kapható masszírozó géppel végezzük. A masszírozó géphez (vibrátorhoz) csatlakoztatható fémtuskó segítségével lehet az acél szalagot rögzíteni (lásd jobb oldali kép). Rögzítsünk a tuskóba vékony acélszalagot, és képezzünk egy hurkot a szalagra. A hurok kerülete a szalag szabad végének behúzásával változható.



Ezzel az elrendezéssel a pálca és az abroncs rezgéseit egyaránt be lehet mutatni.

Feladatok

- Helyezzük a befogó tuskót a vibrátorra, és dugjuk be a masszírozó gépet a konnektorba. Hangoljuk össze a kerület változtatásával a hálózati frekvenciát és a hurok sajátfrekvenciáját. Az abroncson állóhullámok alakulnak ki. Változtassuk tovább a kerületet: újabb sajátállapot kialakulásának lehetünk tanúi.
- Figyeljük az acélszalag egyenes részének (pálca) rezgéseit is. Megfelelő pálcahossznál állóhullámok jelennek meg. Figyeljük meg, hogy a szabad végen duzzadóhely alakul ki. Határozzuk meg adott állapotnál a pálca hosszának és sajátfrekvenciájának kapcsolatát.

5.42. Lemezek rezgéseinek megfigyelése

A kísérlet célja

Lemezeken kialakuló (síkbeli) állóhullámok, az ún. Chladni-ábrák bemutatása.

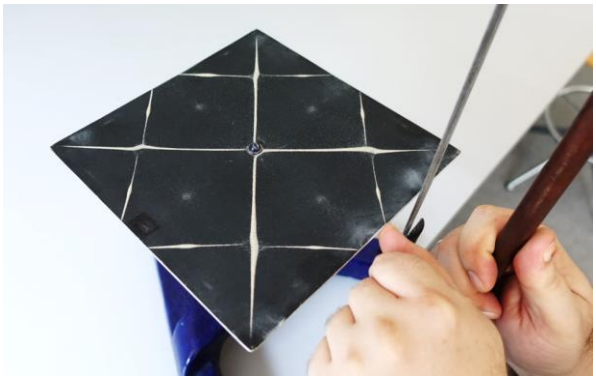
Szükséges anyagok, eszközök

- „A” talp
- „A” talpba fogható lemez (kör és négyzet alakú)
- finomszemcsés homok (sószóróban)
- Hegedűvonó

Leírás

A lemezek a pálcák kétdimenziós megfelelői. Rögzítsük a kör/négyzet alakú alumíniumlemezt középen az állványhoz. Szórjunk kevés finom homokot a vízszintes lemezre. Húzzuk végig a vonót a lemez élén. A vonót tartsuk merőlegesen a lemez síkjára. Ha jól csináltuk, akkor erős hangot hallunk. Az alkalmas helyen rezgésbe hozott lemezen állóhullámok alakulhatnak ki. A finom homokszemcsék a csomóvonalak mentén rendeződnek. Figyeljük a vonóval keltett hang magasságát és a hozzá tartozó Chladni-féle ábrát. A magasabb hanghoz általában több csomóvonalat tartalmazó, bonyolultabb ábra tartozik.

Készítsünk különböző ábrákat. Ha a lemez élét egy helyen lefogjuk és rezgésbe hozzuk, a lefogás helyéről csomóvonal indul, mivel lemez szabad rezgését a lefogás helyén megakadályoztuk.) A lefogási pont helyét és számát változtatva sokféle Chladni-féle ábra készíthető.



Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan az alábbi szemléletes videót bemutatni: Állóhullámok lemezen szuperlassításban

5.43. Dob (gumimembrán) rezgéseinek megfigyelése stroboszkópos megvilágításban

A kísérlet célja

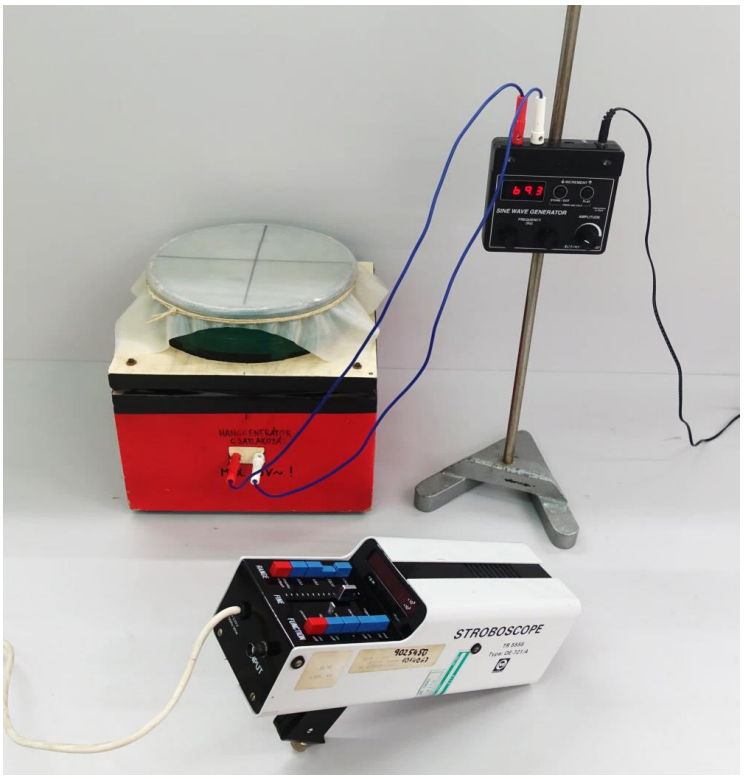
Dobon kialakuló (síkbeli) állóhullámok megfigyelése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Függvény-generátor (pl. Pasco)
- Hangszóró, felette hengerre rögzített gumimembrán
- Stroboszkóp

Leírás

Feszítsünk rugalmas gumilepedőt (gumipelenkát) kb. 20 cm átmérőjű, kör alakú keretre (dob). Helyezzük a dobot a hangszóró fölé. Kössük a hangszórót hanggenerátorhoz. Változtassuk a hanggenerátor frekvenciáját, s figyeljük a dob membránjának rezgéseit. (Elég nagy hangintenzitást kell beállítani a sikeres kísérlethez.)



Állítsunk be különböző sajátállapotokat. "Lassítsuk" le a membrán mozgását stroboszkóppal. Ehhez a stroboszkóp villanási frekvenciáját a dob rezgésének frekvenciájához közeli értékre kell beállítani. Figyeljük meg a különböző sajátállapotban megjelenő csomóvonalak alakját. A következő ábra egy stroboszkóp beállítását mutatja.

Módszertani kiegészítések

- Stroboszkóp híján a membrán rezgését nagysebességű kamerás felvétel lelassításával is meg lehet figyelni.

- A dobok esetén is hasonló kétdimenziós hullámok alakulnak ki: Dobon keletkező hullámok lassítva

5.44. Hangvilla rezgésének megfigyelése stroboszkópos megvilágításban

A kísérlet célja

A hangvilla rezgésének közvetlen megfigyelése.

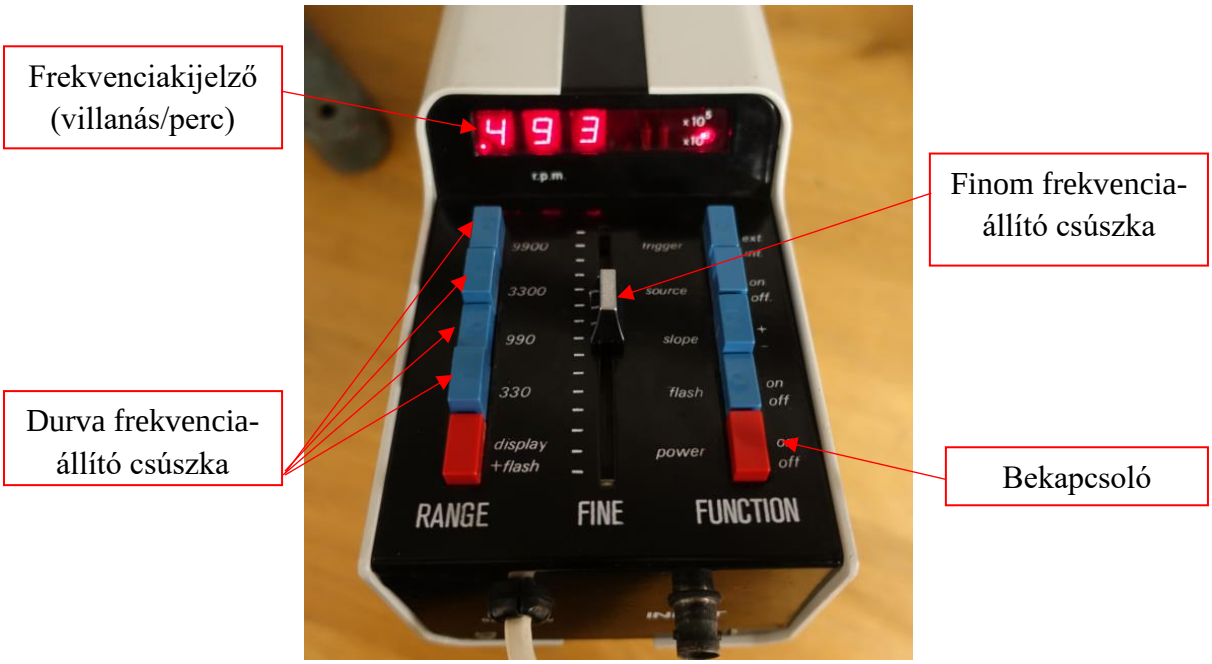
Szükséges anyagok, eszközök

- Nagyméretű hangvilla (oldala fehér ragasztószalaggal bevonva)
- Stroboszkóp

Leírás

A hangvilla az egyik legismertebb hangforrás. A megpendített hangvilla rezgése azonban - a kis amplitúdó és a nagy rezgésszám miatt (szabad szemmel) alig vagy egyáltalán nem észlelhető. Megpendített hangvilla rezgése stroboszkópos megvilágítással láthatóvá tehető. A hangvilla rezgésszámával közeli frekvenciájú fényben a hangvilla két szára a madár csőréhez hasonlóan lassan nyílik és zárul.

A következő ábra egy stroboszkóp beállítását mutatja.



A hangvilla két ágát csippentő mozdulattal közelítsük, majd engedjük el, így kellően nagy amplitúdójú rezgésbe hozható. A stroboszkóp villanási frekvenciáját fokozatosan növeljük addig, amíg a rezgés lassú tátogásnak nem látszik.

Módszertani kiegészítések

- Stroboszkóp híján a hangvilla rezgését nagysebességű kamerás felvétel lelassításával is meg lehet figyelni.

5.45. A hang sebességének mérése állóhullámokkal

A kísérlet célja

A hang terjedési sebességének meghatározása levegőben, ismert frekvenciájú hangra rezonáló levegőoszlop hosszának mérésével.

Szükséges anyagok, eszközök

- Nagyméretű, egyik végén zárt műanyaghenger
- Mindkét végén nyitott, a hengeres edénybe illeszthető műanyag cső, oldalán centiméteres beosztású skála
- Ismert rezgésszámú hangvilla

Leírás

A műanyag hengert töltsük meg vízzel, hogy a tetején csak 5-10 cm levegőoszlop legyen. Az oldalán skálával ellátott csövet merítsük a vízbe. A csőben lévő levegőoszlopot alulról a víz zárja be, így a légoszlop hossza a cső emelésével és süllyesztésével változtatható. A cső szabad vége fölé tartsunk rezgő hangvillát, majd a teljesen vízbe merített csövet emeljük lassan egyre magasabbra. Közben megfigyelhetjük, hogy bizonyos hossznál a hang felerősödik. A maximális hangerősséghez tartozó levegőoszlop-magasságot (a cső peremének és a henger vízszintjének különbségét) mérjük le. Folytassuk a cső emelését egészen a következő rezonanciahelyzetig, és mérjük le ismét a belső csőben lévő levegőoszlop hosszát.

Ha a mérés közben a hangvilla rezgése már nagyon elhalkulna, ismételt megkoccintással újból rezgésbe hozható. A villa hangjának erősödése jelzi, hogy a csőben hang-állóhullám alakul ki.

Az egyik végén zárt levegőoszlop L hossza a λ hullámhossz negyedének páratlan számú többszöröse:

$$L = (2k+1)\frac{\lambda}{4}, \text{ ahol } k = 0, 1, 2, \ldots$$

Két egymás utáni rezonanciahely tehát $2 \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda}{2}$ távolságra van egymástól. Így a hullámhossz meghatározható a két mért levegőoszlop-magasság különbségéből:

$$\lambda = 2(L_2 - L_1).$$

A hangvilla f frekvenciájának ismeretében a hang c terjedési sebessége a

$$c = \lambda \cdot f$$

összefüggésből határozható meg.

Módszertani kiegészítések

- Érdemes megjegyezni, hogy akár egy mérésből is meghatározható a hang sebessége, feltéve, hogy pontosan tudjuk milyen (azaz hány csomópontú) állóhullám alakul ki. A fent felvázolt eljárás értelme kettős:
    - ezt követve nem kell tudnunk milyen állóhullám alakult ki, hiszen a két szomszédos különbsége mindig a λ/2.
    - A lemért hossz (a cső peremének és a henger vízszintjének különbsége) nem teljesen az a hossz, ami meghatározza a kialakult állóhullám hosszát. Ennél a tényleges hullámhossz kissé nagyobb. Ezt nevezik végkorrekciónak. Ha az egymással szomszédos rezonanciahelyek alapján számolunk, akkor ez a korrekció is kiesik, így pontosabb eredményt kapunk.

- A hang véges terjedési sebességének szemléltetésére érdemes bemutatni az alábbi videót: Armin Küpper magával kánonozik

5.46. Hanglebegés előállítása két hangvillával

A kísérlet célja

A hanglebegés jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Két külön-külön rezonátordobozzal ellátott, de közel azonos rezgésszámú hangvilla
- Gumikalapács

Leírás

Két külön-külön rezonátordobozzal ellátott és azonos rezgésszámú hangvilla közül az egyiket "hangoljuk el" például oly módon, hogy az egyik szárának a végére egy alumínium bilincset helyezünk. Ezután állítsuk a rezonátorokat egymás mellé, nyílásukat enyhén egymás irányába fordítva és pendítsük meg mindkét hangvillát.

A kis frekvenciakülönbség miatt a két hangvilla rezgése között periodikusan változik a fáziskülönbség. Ennek hatására a két hang interferenciája gyorsan váltakozik az erősítés és a gyengítés között, így vibráló hangot hallhatunk.

A bilincset eltávolítva egy változatlan hangot hallhatunk. Ekkor az interferencia a két rezonátor és a fülünk helyzetétől függően lehet erősítés és gyengítés is.

Módszertani kiegészítések

- A kísérletet sztereó hangszórókkal, az Audacity program segítségével is el lehet végezni. Ehhez két közeli frekvenciájú hangsávot kell létrehoznunk, melyek közül az egyik csak a bal hangszórón, a másik pedig csak a jobbon szól. A frekvenciák különbségének változtatásával ekkor a „vibrálás” gyorsaságának változását is bemutathatjuk (nagyobb frekvenciakülönbség esetén csökken a fáziskülönbség periódusideje).

5.47. Fáziskülönbséggel kibocsátott hanghullámok interferenciája

A kísérlet célja

Figyelemfelkeltő kísérlet bemutatása hullámok interferenciájának (kioltás) témakörében.

Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db Bunsen állvány, dió
- 2 db kémcsőfogó
- 2 db üveghenger (speciális hosszúságúak, lásd leírás)
- Hangvilla
- Fémlap
- Gumikalapács

Leírás

A Bunsen-állványra rögzített hangvilla mellé, egymásra merőlegesen, két alkalmas hosszúságú rezonátorcsövet helyezünk el. Ezek lehetnek 3-4 cm átmérőjű üvegcsövek, vagy akár egyszerű PVC csövek is. Hosszúságukat úgy kell beállítani, hogy a köztük lévő különbség a hangvilla alaphangjának megfelelő (λ) hullámhossz negyedrészének páratlan számú többszöröse $\left(L_1 - L_2 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{4} \right)$ legyen. A csövek hangvilla felé eső vége nyitott, a másik zárt.

Pendítsük meg a hangvillát. Ekkor a két rezonátorcső gyengíti egymást. Ezt úgy ellenőrizhetjük, hogy az egyik cső nyílását egy eléje csúsztatott fémlappal lezárjuk. Ekkor az észlelt hang felerősödik, hiszen megszüntettük a gyengítő hatást.

5.48. Mérések Audacity számítógépes akusztikus mérőprogram segítségével

a) Az emberi hang, a hangvilla és síp hangjának elemzése

A kísérlet célja

Különböző hangok elemzése Audacity programmal. Nyílt és zárt síp hangja közötti különbség bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Számítógép (*Audacity* akusztikai mérőprogrammal)
- Mikrofon
- Ismert frekvenciájú hangvilla, gumi ütő
- Nagy méretű demonstrációs síp

Leírás

A mikrofont helyezzük magunk elé és a különböző eszközökkel (hangszál, hangvilla, síp) keltett hangokat vegyük fel. Vizsgáljuk meg a hangnyomást az idő függvényében, valamint elemezzük a hangok spektrumát!

Feladatok

- Mondjunk bele a mikrofonba egy tetszőleges szöveget (fontos, hogy meg tudjuk ismételni!). Nagyítsunk rá a hangnyomás grafikonra és figyeljük meg a hangnyomás „periodikus” változását! Készítsük el a hang spektrumát, és határozzuk meg a hangunk legjellemzőbb frekvenciáját (alaphangját). Kérjük meg egyik társunkat, hogy mondja bele ugyanezt a szöveget a mikrofonba. A spektrum alapján döntsük el kinek mélyebb a hangja!
- A gumi ütővel szólaltassuk meg a hangvillát. Vegyük fel a hangját, nagyítsunk rá a hangnyomás grafikonra és figyeljük meg a hangnyomás periodikus változását! Mi a különbség az emberi hanghoz képest? Figyeljük meg a hang spektrumát! Hasonlítsuk össze a mért és a hangvillára írt frekvenciát! Hogyan módosul a hangvilla hangja (spektruma), ha az asztalhoz csapva szólaltatjuk meg?

- Fújjunk bele a sípba egyenletesen és rögzítsük a hangját! Figyeljük meg a hangnyomás periodikus változását! Hasonlítsuk össze az előző kettő grafikonnal! A spektrum alapján határozzuk meg a síp alaphangját! Fogjuk be a síp végét és szólaltassuk meg újra. Ebben az esetben is határozzuk meg a zárt síp alaphangját és vessük össze a nyitott síp alaphangjával!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi határozza meg az ember hangszínét? Honnan látszik a spektrumán?
- Magyarázza a nyitott és zárt síp hangja közötti különbségeket. Magyarázza a felharmonikusok létrejöttét!
- Mit jelent a dB skála?

b) Hang állóhullámok, hangsebesség mérése

A kísérlet célja

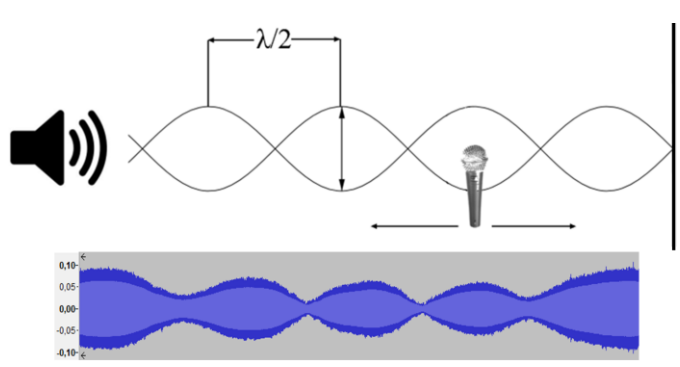
Hangsebesség mérése hang állóhullámok keltésével.

Szükséges anyagok, eszközök

- Számítógép (*Audacity* akusztikai mérőprogrammal)
- Mikrofon
- Hangfal
- Mérőszalag

Leírás

Fordítsuk egyenes, sima fal felé hangfalunkat, és a programmal generáltassunk monokromatikus hangot (1000 Hz) (Generálás→Hang). A hangfal és a fal távolsága legyen 1,02 m. A generáltatással párhuzamosan indítsuk el a hangfelvételt is (ehhez egy új hangsávot kell nyitni: Sávok→új hozzáadása→audió sáv), és a faltól indulva mozgassuk egyenletes sebességgel a mikrofont, ahogyan a sematikus ábrán látszik.



Ekkor a hangnyomás-intenzitásban periodikus csökkenést emelkedést láthatunk (bal oldali ábra, alsó része).

Feladatok

- Határozza meg két szomszédos minimumhely távolságát, és számolja ki az adatból a hangsebességet!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi az állóhullámok kialakulásának feltétele! Magyarázzuk miért volt érdemes a hangszórót pont 1,02 méterre helyezni a faltól.

Módszertani kiegészítések

- Az Audacity program használati útmutatója megtalálható a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 702. oldalán. A kísérletek elkezdése előtt a mikrofont és a hangfalat csatlakoztassuk a számítógéphez. A hangfalat a zöld jack csatlakozóba (valamint a konnektorba), a mikrofont a rózsaszín jack csatlakozóba kell bedugni. „Sajnos” a mai laptopokon már csak egy integrált csatlakozó van. Ilyen esetekben a hang generálása egy mobiltelefonról is történhet. Ezt követően indítsuk el az Audacity programot. Ha a program megfelelően működik, akkor felismeri a két eszközt. A működését érdemes letesztelni: indítsunk el egy felvételt, beszéljünk bele a mikrofonba, majd állítsuk le és hallgassuk vissza. Ha jó minőségben visszahalljuk a saját beszédünket, akkor minden rendben működik.

5.49. Duda szívószálból és lufiból

A kísérlet célja

Duda egyszerű készítése és jellemzőinek vizsgálata.

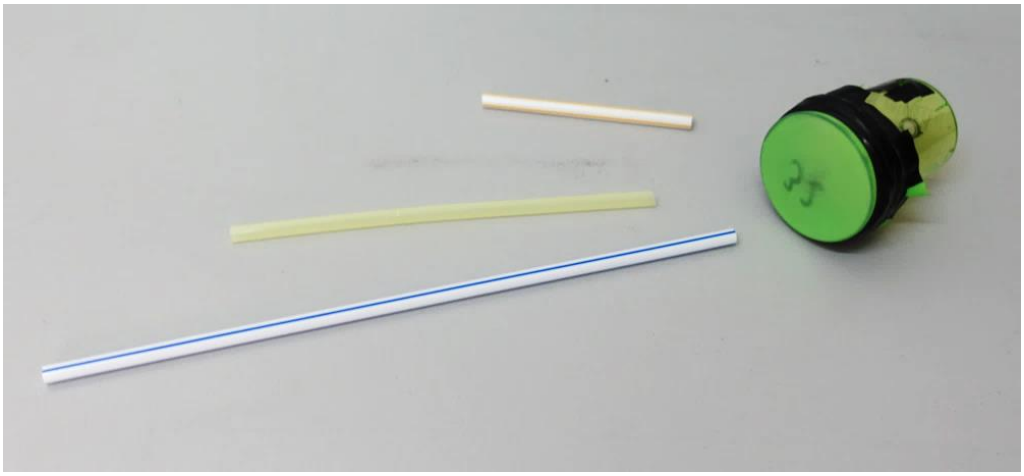
Szükséges anyagok, eszközök

- gumimembrán (lufi, fitnesz-szalag, gumikesztyű stb.)
- műanyag pohár, masszív (esetleg különböző méretekben)
- szívószálak (egyforma átmérőjűek, de különböző hosszúságúak)
- szigetelőszalag
- hegyes és/vagy forró eszköz a poharak lyukasztásához
- okostelefon hangelemző applikációval (pl. Spectroid, Sound Level Meter, Audio Spectrum Monitor, Spectrogram stb.) vagy Audacity számítógépen/laptopon
- vonalzó

Leírás

A duda elkészítéséhez először is készítsünk egy lyukat a pohár alján, melyen a szívószál még éppen átfér. Ezután fúrjunk egy második lyukat a pohár oldalába, ahol a levegőt fogjuk befújni. Vágjunk ki a lufiból (vagy fitnesz szalagból) annyit, hogy az bőven befedje a pohár száját, s a túllógó részek segítségével szigetelőszalaggal feszesen rögzítsük a „gumimembránt”. Dugjuk be valamelyik szívószálat az alsó lyukon úgy, hogy az kissé nekifeszüljön a gumimembránnak. Az oldalsó lyukon fújjunk be, s óvjuk fülünket a duda hangjától!

A három különböző, de ismert hosszúságú szívószálat azonos mértékben a pohárba dugva – kb. 1 cm-rel lógjanak túl a pohár gumi membránnal lezárt száján – vizsgáljuk meg okostelefon segítségével a kialakuló hang spektrumát! Jegyezzük fel a létrejött hangok alapfrekvenciáját, s arányukat hasonlítsuk össze a szívószálak hosszának arányával! Mit vehetünk észre? Megfigyelésünkre keressünk fizikai magyarázatot!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Jelen „hangszer” esetében mi okozza a levegő rezgését?

5.50. Nyomás nyugvó folyadékban

a) Vízi buzogány

A kísérlet célja

Pascal törvényének demonstrálása: a folyadékra kifejtett nyomást a folyadék gyakorlatilag gyengítetlenül közvetíti a folyadék belsejébe, valamint a határoló falakra.

Szükséges anyagok, eszközök

- vízi buzogány
- víz

Leírás

A buzogányból a kart kihúzva, a dugattyú eltávolítása után tegyük a csap alá a buzogányt, és töltsük fel vízzel. Folyamatos töltés mellett helyezzük vissza a dugattyút, majd nyomjuk be ütközésig. Benyomás közben figyeljük meg buzogány fejéből kifolyó vízsugarat.

> ***Vigyázat!***
> A vízi buzogány általában üvegből készül, könnyen törik.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Gyűjtsünk össze 1-2 hétköznapi jelenséget, vagy technikai alkalmazást, melyekben a Pascal-törvény szerepet játszik.

Módszertani kiegészítések

- Ha nem áll rendelkezésünkre vízi buzogány, akkor hasonló kísérlet végezhető el egy több helyen (vastag) tűvel kilyukasztott uzsonnás zacskó, lufi vagy műanyag palack segítségével is.

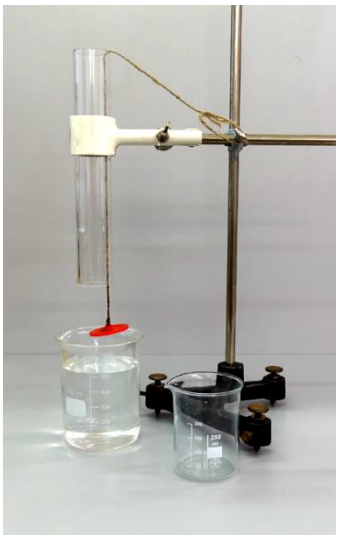
b) Hidrosztatikai nyomás

A kísérlet célja

A hidrosztatikai nyomás mélységtől való függésének demonstrálása, valamint annak bemutatása, hogy felfelé (és minden irányban) hat.

Szükséges anyagok, eszközök

- mindkét végén nyitott üvegcső
- az üvegcsőre illeszkedő sapka, melyre madzag van rögzítve
- Bunsen-állvány, dió, nagy méretű kémcsőfogó
- főzőpoharak (600 ml és 250 ml)
- víz



Leírás

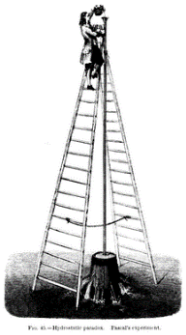
Az üvegcsövet rögzítsük egy kémcsőfogóval függőlegesen egy Bunsen állvány segítségével. A madzagot bújtassuk át a nyitott üvegcsövön. Ezt követően a madzagot felfelé húzva az üvegcső (alsó) végét zárjuk le, majd engedjük bele a lezárt üvegcsövet egy

vízzel telt nagyobb főzőpohárba. (Ehhez a Bunsen-állványhoz kapcsolódó dió megfelelő csavarját kell meglazítani). Ha jól csináltuk, akkor a madzagot meglazítva is ott marad a sapka, és csak minimálisan szivárog bele a víz. Öntsünk a hengerbe vizet és figyeljük meg, mikor válik el a sapka a henger aljától. Magyarázzuk meg a jelenséget!

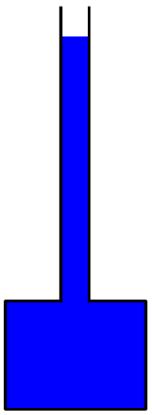
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Gyűjtsünk össze 1-2 hétköznapi jelenséget, vagy technikai alkalmazást, melyekben a hidrosztatikai nyomás szerepe nem elhanyagolható.

Módszertani kiegészítések



- Pascal nevéhez fűződik az alábbi, a hidrosztatikai nyomás hatását bemutató kísérlet is: hogyan lehet szétrobbantani *1 liter* vízzel egy hordót, amely tele van borral? A kérdés jó gondolkodtató feladatnak is. A megoldás: a hordóba szorosan illesztünk egy nagyon hosszú, kis keresztmetszetű üvegcsövet, amelybe azután beleöntjük a vizet. Ha kicsi a cső keresztmetszete, akkor magas lesz a vízoszlop magassága, így nagy lesz az általa kifejtett hidrosztatikai nyomás is. (A kísérlet illusztrációja megtalálható ezen a weblapon.)



- A Pascal-féle hordókísérlet után érdemes egy egyszerűsített ábrán megbeszélni, hogy milyen szerepet játszik a Pascal-törvény a hordó szétrobbanásában. Számítsuk is ki, hogy ha a hordós kísérletben egy *5 m* magas *2 cm*^{2} keresztmetszetű üvegcsőbe öntjük az *1 liter* vizet, akkor mennyivel nő a hordó alján a nyomás. (A hordót helyettesíthetjük egy fél méter oldalhosszúságú (üreges) kockával.) Érdemes nyomástérképet is készíteni, mert a tévhitek között szerepel, hogy például a kocka jobb felső sarkában a nyomás nulla, vagy azt, hogy a kocka jobb alsó sarkában a nyomás nem függ a csőbe öntött víz mennyiségétől.

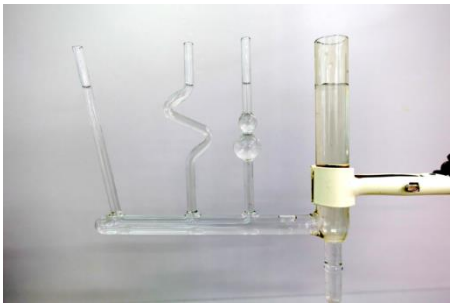
c) Közlekedőedények egynemű (homogén) anyaggal

A kísérlet célja

Közlekedőedények elvének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- demonstrációs közlekedőedény
- Bunsen-állvány, dió, kis kémcsőfogó



Leírás

A demonstrációs közlekedőedény egy olyan eszköz, melyben különböző alakú üvegcsövek ágaznak le egy tartályról. Ha feltöltjük az eszközt homogén folyadékkal, akkor a száraiban azonos magasságban fog megállapodni a folyadék.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Figyeljük meg az edény szárában lévő folyadékok szintjét. Az eszközt enyhén megdöntve mit tapasztalunk?
- Gyűjtsünk össze minél több technikai alkalmazást, mely a közlekedőedény elvén alapul.

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet magyarázata nehézséget szokott jelenteni a hallgatóknak, pedig egyszerűen csak annyit mutat, hogy a hidrosztatikai nyomás független a tartály alakjától, csak a folyadékszint magasságától függ (amennyiben a cső nem túl keskeny). Ha a különböző szárakban más lenne a nyomás, akkor áramlások indulnának be, amit nem tapasztalunk.
- Ehhez a jelenséghez kapcsolódik a hidrosztatikai paradoxon is, ami technikailag nehézkes, de videón mindenképpen érdemes bemutatni.

d) Közlekedő edények többféle anyaggal

A kísérlet célja

Közlekedő edények elve alapján folyadék sűrűségének mérése

Szükséges anyagok, eszközök

- „U” alakú üvegcső
- két, egymással nem elegyedő folyadék (például desztillált víz és benzin vagy étolaj)

Leírás

„U” alakú csőben rétegezzünk egymásra két nem elegyedő, különböző sűrűségű folyadékot, például festett desztillált vízre benzint. A két szárban (a képen látható módon) nem egyenlő magasságban állapodnak meg a folyadékszintek.

Feladatok

- A folyadékszintek lemérésével határozzuk meg a benzin sűrűségét! Használjuk fel, hogy a (kékre festett) víz sűrűsége 1100 kg/m^3. Vessük össze a benzin mért sűrűségét az irodalmi értékkel!

Módszertani kiegészítések

- Az alábbi filmrészlet segítségével 2:13-tól szemléltethető a mélység növekedésével a nyomás növekedése: Tűz a víz alá! - Filmrészlet

5.51. Kísérletek Arkhimédész törvényére

a) Az Arkhimédész-törvény bemutatása üres és tömör hengerrel

A kísérlet célja

Arkhimédész törvényének kísérleti igazolása

Szükséges anyagok, eszközök

- készlet Arkhimédész-törvényéhez (állvány, rajta rugóra akasztott üres és (bele illő) tömör henger, erőskála)
- főzőpohár, benne víz
- süllyeszthető-emelhető asztalka (laborlift)

Leírás

Állítsuk össze az oldalsó ábrán látható készüléket! Az állványon spirálrugó, rajta mutatótárcsa függ. Ezen egy üres hengeres edény lóg, amelynek aljára tömör henger van felfüggesztve. A henger térfogata megegyezik az edény belső térfogatával. Rögzítsünk az állvány rúdjára egyenletes beosztású skálát!

Feladatok

- Az állványra rögzített egyenletes beosztású skálán jelöljük meg a mutatótárcsa kezdeti állását!
- Emeljünk ezután a tömör henger alá egy poharat úgy, hogy a benne lévő víz a tömör hengert teljesen ellepje! A mutatótárcsa most feljebb áll meg. Jelöljük meg ezt is!
- Töltsük ezután színültig vízzel a hengeres edényt! A mutatótárcsa visszasüllyed az alsó jelig.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi okozza a felhajtóerőt?
- Gyűjtsünk össze minél több hétköznapi jelenséget, vagy technikai alkalmazást, melyekben az Archimédesz-törvény szerepet játszik.

Módszertani kiegészítések

- Érdemes mondókába foglalni Arkhimédész-törvényét, ügyelve az univerzális (anyagfüggetlen) megfogalmazásra: Minden folyadékba mártott test a súlyából annyit veszt, amennyi az általa kiszorított folyadék súlya. Ez sem teljesen pontos, mert légnemű anyagokban is hat a felhajtó erő, de annak belefogalmazásával elveszti a fülbemászóságát.
- A jól ismert anekdota szerint Hierón, Szirakuza királya megkérte Archimédészt, hogy találjon egy olyan módszert, amellyel meg lehet állapítani, hogy az az aranykorona, amit az ötvöstől rendelt fogadalmi ajándéknak az isteneknek, valóban csak aranyat tartalmaz-e. Felmerült ugyanis, hogy ötvös az átadott arany egy részét ellopta, és ezüsttel pótolta a hiányt. Vitruvius római építész szerint Archimédész a róla elnevezett törvényt éppen egy dézsába merülve fedezte fel. Habár a történet nagy valószínűséggel nem igaz, az alábbi feladatot biztosan érdekesebbé teszi, ha erre a koronára utalunk a feladat feladásakor.

Egy korona súlya a levegőben 20 N, a vízben 18,75 N. Mennyi aranyat cserélt ki ezüstre az ötvös a korona elkészítéséhez, ha az arany 19,3-szor, az ezüst pedig 10,5-ször nagyobb sűrűségű, mint a víz. A feladat érdekessége, hogy a feladat akkor is kiszámolható, ha a súlyokat Newton helyett tetszőleges (akár nem létező) mértékegységrendszerben adjuk meg.

b) A felhajtóerő ellenerejének bemutatása

A kísérlet célja

A felhajtóerő ellenerejének bemutatása, az Arkhimédész-törvény igazolása

Szükséges anyagok, eszközök

- kétserpenyős konyhamérleg
- főzőpohár
- üres és (bele illő) tömör henger (a henger felállításához polisztirol sapka)
- súlyok (50 dkg-os, 50 g-os súlysorozat, táragyöngyök)
- Bunsen-állvány

Leírás

Rakjuk össze a képen látható kísérleti összeállítást! Lógassuk fel a tömör hengeres testet egy Bunsen-állványra dióval rögzített rúdra. Helyezzünk a kétserpenyős konyhamérleg egyik serpenyőjébe egy pohárba annyi vizet, hogy a hengeres test teljesen el tudjon merülni benne, a másikba pedig az üres hengeres edényt a polisztirol sapkával. Egyensúlyozzuk ki a mérleget a súlyok segítségével.

Feladatok

- Lógassunk a pohárba a tömör hengert!
- A hengerre ható felhajtóerő ellenereje lenyomja a mérleg serpenyőjét. Az egyensúly azonban visszaáll, ha az edényt színültig töltjük vízzel.

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet digitális mérleggel is elvégezhető. Helyezzünk egy pohár vizet a digitális mérlegre és olvassuk le a tömegét. Ha a folyadékba egy testet lógatunk, akkor a mérleg nagyobb értéket mutat. A kettő különbsége a felhajtóerő ellenerejéből származik. A mérés alapján Arkhimédész törvényének ismeretében a test térfogata számolható (lásd 5.52. mérés)
- Számítani kell arra, hogy sok okos gyerek nem az ellenerővel magyarázza a kísérletet. Megfogalmazásuk szerint a kiszorított víz „felülre kerül”, megemelkedett a vízszint, vagyis olyan, mintha újabb vizet öntöttünk volna a pohárba. A felhajtóerő ellenerejét elképzelni a diákoknak nagyon nehéz, hiszen felmerül a kérdés: hogy és hol is hat ez az erő?
- Állítólag régen a piacokon a kofáknak szokásuk volt a tejföl mérésekor a merőkanalat „véletlenül” belelógatni a mérendő tejfölbe. Érdemes végigbeszélni a diákokkal, hogy ez nekik miért volt érdekük.
- A témakör szemléltetéséhez ajánlott videók:

Részletek a Hindenburg c. filmből

A Graf Zeppelin Budapest felett

5.52. Sűrűségmérés az Archimédész-törvény segítségével

A kísérlet célja

Egy szabálytalan alakú kő és egy ismeretlen folyadék sűrűségének meghatározása az Arkhimédész-törvény segítségével

Szükséges anyagok, eszközök

- műanyag mérő kancsó, benne víz
- digitális mérleg
- rugós erőmérő
- dróttal felfüggeszthető kődarab
- ismeretlen sűrűségű folyadék (sós víz, PET palackból vágott edény)

Leírás

Először mérjük meg a rugós erőmérővel az ismeretlen sűrűségű test (kődarab) egyensúlyban tartásához szükséges erőt, a testet a levegőben tartva. Ismételjük meg a mérést úgy is, hogy a test teljesen (a műanyag kancsóban lévő) vízbe merül. Ebből már meghatározható a kő térfogata, valamint a sűrűsége.

Az ismeretlen folyadék sűrűségének meghatározásához mérjük meg először digitális mérleggel a PET palack-edény és az ismeretlen sűrűségű folyadék együttes tömegét, valamint az utóbbi mérést végezzük el úgy is, hogy a követ a palackban lévő folyadékba lógatjuk.

Vigyázat! Ha a folyadékba lógatáskor a kő nem teljes egészében merül a folyadékba, vagy ha a kő az edény széléhez ér, akkor a mérésünk és az így kiszámolt sűrűségértékek hibásak lesznek.

Feladatok

- Jegyezzük fel mindkét esetben (levegőben tartva, vízbe merítve) a rugós erőmérő által mutatott erő értékét. Ezen értékekből határozzuk meg a kő sűrűségét. (A levegőben fellépő felhajtóerőtől tekintsünk el a számolás során.)
- Jegyezzük fel mind a három esetben (1. csak a kő; 2. mérőpohár + ismeretlen sűrűségű folyadék; 3. mérőpohár + ismeretlen sűrűségű folyadék + kő belelógatva) a digitális mérleg által mutatott tömegértékeket! Az adatokból határozzuk meg az ismeretlen folyadék sűrűségét.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Archimédész a legenda szerint a kádba merülésekor a kádból kifolyó víz következtében ismerte fel a róla elnevezett törvényt. Hogyan lehet ennek („kifolyó víz”) és egy mérleg segítségével meghatározni egy szabálytalan alakú test térfogatát?

5.53. Kísérletek a légnyomásra

a) Magdeburgi féltekék

A kísérlet célja

Otto von Guericke látványos kísérletének demonstrációja.

Szükséges anyagok, eszközök

- műanyag magdeburgi-félteke készlet

Leírás

A műanyag magdeburgi-félteke két 10 mm vastag, 20 cm átmérőjű plexikorongból áll, amelyre egy-egy fogantyú csatlakozik. Az egyik korong át van fúrva, és a furatba kis csődarab illeszkedik, amelyre gumicső húzható. A két korong közé egy 2-3 mm vastagságú gumikarikát helyezünk, majd ezeket összeszorítjuk, és a közéjük zárt levegőt a gumicsövön keresztül szájjal kiszívjuk. A gumicsövet megtörve megakadályozhatjuk a nyomás kiegyenlítődését. Ha kicsi a korongok által bezárt gáztér, már szájjal történő szívás esetén is jelentős légritkítást érhetünk el. Így a két tárcsa széthúzása már ebben az esetben is komoly erőt igényel. Ha elengedjük a lezáró gumicsövet, a két plexi lap könnyen szétjön.

Feladatok

- Szívjuk ki a levegőt az eszközből a fent leírt módon, majd zárjuk be. Kérjük meg két diákot, hogy próbálják meg szétfeszíteni.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi tartja össze a két korongot a korongok közti levegő kiszívása után?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Feszítés közben ne engedjük el a megtört kiszívó gumicsövet, mert balesetveszélyes!
- Magyarázatkor gyakran hallani „az eszközben vákuum keletkezik” kifejezést. Egyszerű szájjal történő leszíváskor 5-10%-ot tudunk csak csökkenteni a nyomáson. Ez arra elég, hogy nehéz legyen szétszedni, de még biztosan nem éri el a vákuum szintet, hiszen vákuumról akkor beszélünk, ha a részecskék átlagos szabad úthossza meghaladja a tartály méretét. A legtöbb tanszerkereskedelemben kapható légszivattyú sem tud vákuumot létrehozni, így ezzel a kifejezéssel óvatosan kell bánni. Mint sok más esetben, itt is arról van szó, hogy a légköri nyomásnál alacsonyabb nyomást hozunk létre, melynek komoly hatásai lehetnek. Megjegyezzük, hogy a nyomás 5-10%-os csökkentése esetén esetleg az „alacsony vákuum” szakkifejezést használhatjuk.

b) Az atmoszferikus légnyomás magasságfüggésének kimutatása

A kísérlet célja

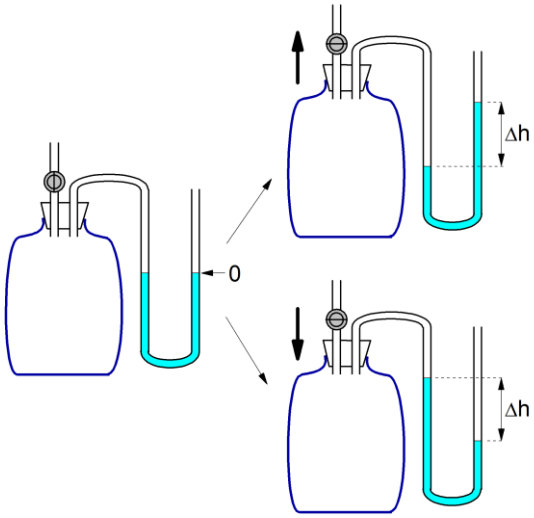
A légnyomás magasságfüggésének szemléltetése egyszerű iskolai kísérlettel

Szükséges anyagok, eszközök

- termosz két helyen átfúrt gumidugóval
- U alakú (alkoholos) manométer
- kétállású üvegcsap

Leírás

A mérőeszköz egy nagyobb termosz (1 literes), amit gumidugó zár le légmentesen. A dugón két furat van, az egyiken keresztül nyitott, alkohollal töltött U alakú manométer, a másikon zárható üvegcsap csatlakozik a belső légtérhez. A manométer állásának leolvasását a manométer mögé helyezett milliméterpapír segítségével végezzük.



Feladatok

- Menjünk le az épület földszintjére (alagsorába), majd nyissuk ki a csapot. Így a mérés kezdő magasságában a külső és a belső légnyomás kiegyenlítődik; a manométerágakban a folyadékszintek magassága megegyezik.
- Ezután a csapot zárjuk el, majd menjünk fel a lehető legmagasabbra anélkül, hogy a csapot kinyitnánk. Olvassuk le a manométer állását, és határozzuk meg a légnyomás megváltozását! Számítsuk ki a nyomáskülönbségből a magasságkülönbséget!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi okozza a légnyomást?

Módszertani kiegészítések

- Ide kapcsolódik egy mulatságos legenda Niels Bohrról

- Ezzel a méréssel a levegő átlagos moláris tömegét is meghatározhatjuk, ha a légnyomás változását megmérjük emeletenként. (A számolás menetének részletes leírása a fizika tanítás a középiskolában I. jegyzet 486. oldalán található.)

5.54. Goethe barométer (hőmérő) házilag

A kísérlet célja:

Szemétből kísérleti eszköz készítése. Goethe-barométer működési elvének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db fél literes PET-palack
- a PET-palackok szájába illeszkedő átfúrt gumidugó és műanyag kupak
- Az átfúrt gumidugó lyukába illeszkedő kb. fél méter hosszú üveg (vagy plexi) cső.
- Festett víz
- Bunsen állvány, dió, kémcsőfogó

Leírás

Az egyik PET-palackot dugaszoljuk le az átfúrt gumidugóval és toljuk bele az üvegcsövet (nem túl mélyre). A másik palackot töltsük meg félig festett vízzel. Az első palackot rögzítsük fejjel lefelé a Bunsen-állványhoz úgy, hogy a csöve belelógjon a második palackba töltött folyadékba. A felső PET-palackot nyomjuk meg enyhén, majd engedjük el, hogy a csőbe (kb. a hosszának feléig) víz kerüljön.

Tegyük a kezünket a felső PET-palackra (anélkül, hogy nyomást fejtenénk ki rá) és figyeljük meg a folyadékszint változását.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg, hogyan működik az eszköz! Miért alkalmas barométernek és hőmérőnek is (illetve egyiknek sem)? Mi az egyes funkciók helyes működésének feltétele?

5.55. Áramlási vonalak szemléltetése Pohl-féle készülékkel

A kísérlet célja

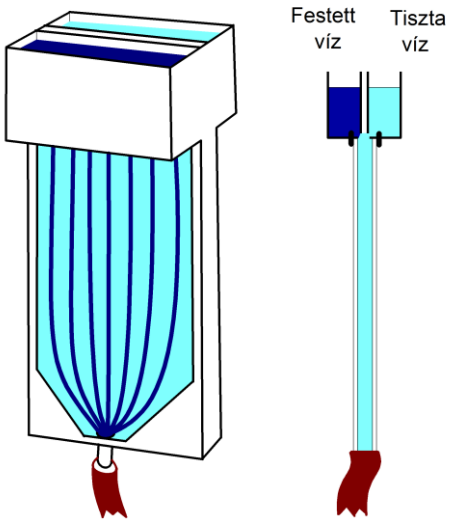
Különböző alakú testek körül kialakuló áramlási terek szemléltetése

Szükséges anyagok, eszközök

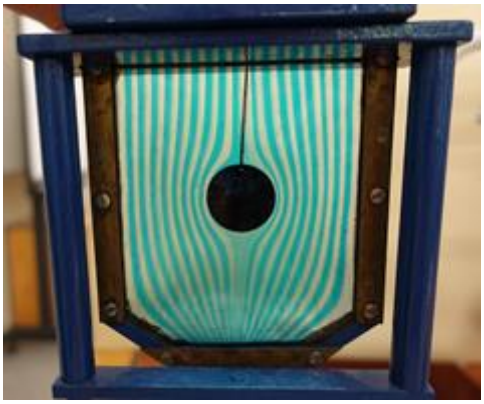
- Pohl-féle áramlási készülék
- különböző alakú test-modellek
- víz
- tömény festékes oldat (vagy ételfesték)

Leírás

A Pohl-féle áramlási készülék síkbeli lamináris áramlási terek szemléltetésére szolgál. Az áramlás két függőlegesen álló üveglemez között, keskeny (kb. l mm) térrészben történik. A lemezek fölött lévő két kamra lyuksorral kapcsolódik az áramlási térhez. A két lyuksor egymáshoz fél lyuktávolságra el van tolva. A készülékre alul gumi kifolyócső csatlakozik, amivel az áramlás sebességét változtathatjuk.



Kezdetben szorítsuk el teljesen a kifolyócsövet, majd töltsünk mindkét kamrába tiszta vizet. Várjuk meg, amíg az üveglemezek közötti részt teljesen kitölti a víz. Ha légbuborékok maradnának a rendszerben, akkor azokat készülék tetején lévő szűk nyílásba benyúlva egy fémlemezből készült spatulával távolíthatjuk el.



Ezt követően az egyik kamrába öntsünk kevés tömény festékoldatot, majd a kifolyócsövön lévő szorítást lazítsuk annyira, hogy a folyadék az eszközből csepegve távozzon. Megfelelő áramlási sebesség esetén az áramlási térben párhuzamos színes és színtelen csíkok (áramlási csövek) alakulnak ki. Az áramlási térbe vékony fémlemezből készült (köralakú, cseppalakú, stb.) idomokat helyezve az idomok módosítják az áramlási tér áramvonalait. (Ha nem csúszik be az test az üveglemezek közé, akkor a buborékmentesítésnél már bemutatott spatula segítségével helyezhetjük az idomokat az üveglapok közé. Az idomokat tartó cérnát végig fogni kell.)

Vigyázat!

Ne felejtsük el kimosni használat után a Pohl-féle készüléket, különben a festék beszárad. Így is előfordulhat, hogy nem mindegyik lyukon keresztül folyik a víz. A készüléket enyhén az asztalhoz ütögetve a lyukak újra szabaddá tehetők.

5.56. Bernoulli-törvényt szemléltető kísérletek

A kísérlet célja

Bernoulli-törvényének kvalitatív szemléltetése különböző kísérletekkel

a) A tölcsér - labda kísérlet

Szükséges anyagok, eszközök

- tölcsér
- pingpong labda
- papír küppalást

Leírás

Tartsunk egy műanyag tölcsért szájával lefelé és dugjunk egy pingponglabdát a tölcsér torkolatához. Vegyünk nagy lélegzetet, fújjunk hosszan és erősen a tölcsér szárába, közben engedjük el a labdát. Mit tapasztalunk? Hasonló eredményre jutunk, ha a tölcsérből egy papír küppalástot akarunk kifújni.

b) Két síklap között áramló levegő nyomása

Szükséges anyagok, eszközök

- fém körlemezek, egyiken fúvócsővel

Leírás

A felső fémlemez közepébe fúvócső vezet. Ha közel van a két körlemez, és nagyot fújunk a fúvócsőbe, akkor az alsó lemez a felsőhöz csapódik.

c) Kísérlet két szárnyprofil lemezzel

Szükséges anyagok, eszközök

- két, tengely mentén elfordítható szárnyprofil

Leírás

Helyezzük a két szárnyprofil alakra hajlított lemezt vízszintes tengelyekre, egymás mellé. Ha felülről a lemezek közé fújunk, akkor a két lemez összecsapódik.

d) Cérnaszálra függesztett pingpong labdákkal

Szükséges anyagok, eszközök

- két, cérnára függesztett pingpong labda

Leírás

Függesszünk fel cérnaszállal két pingpong labdát egymástól néhány cm-re, majd fújjunk közéjük. A fújáshoz érdemes szívószálat használni.

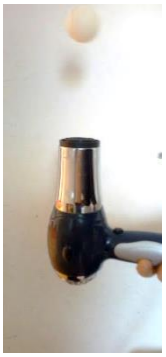
e) Kísérlet tölcsérrel és gyertyalánggal

Szükséges anyagok, eszközök

- tölcsér
- gyertya, gyufa

Leírás

Állítsunk a vízszintesen tartott tölcsér elé égő gyertyát úgy, hogy lángja a tölcsér alsó pereménél legyen, majd fújjunk gyengén a tölcsér csövébe és figyeljük meg, hogy a láng merre hajlik el.



f) Szélcsatorna légáramában táncoló labda

Szükséges anyagok, eszközök

- szélcsatorna vagy hajszárító
- pingpong labda

Leírás

Tartsunk szélcsatorna vagy hajszárító függőleges légáramába egy pingpong labdát, és hagyjuk ott magára! Ha jó helyre helyezzük, akkor a labda nem hagyja el az áramlási teret.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mindegyik kísérletnél magyarázzuk meg a jelenséget a Bernoulli-törvény segítségével.
- Keressünk a Bernoulli-törvényen alapuló mindennapi jelenségeket!
- Közlekedésbiztonsági szempontból milyen jelentősége van a törvénynek?
- Magyarázzuk meg, hogy erős szél esetén miért viszi le a szél a cserepeket a háztetőről!

Módszertani kiegészítések

- Az a) és e) kísérleteket mindenképpen csak akkor mutassuk be, ha előtte már sikerült jól begyakorolni, ugyanis mindkét esetben a fújás erősségétől függ a kísérlet sikere.
- Az a) esetben üvegtölcsérrel sikeresebb a kísérlet, csak jobban oda kell figyelni, nehogy eltörjön az eszköz.

5.57. Magnus-effektus hurkapálcára rögzített hengerrel és magnus-sikló készítése

A kísérlet célja

Magnus-effektus bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

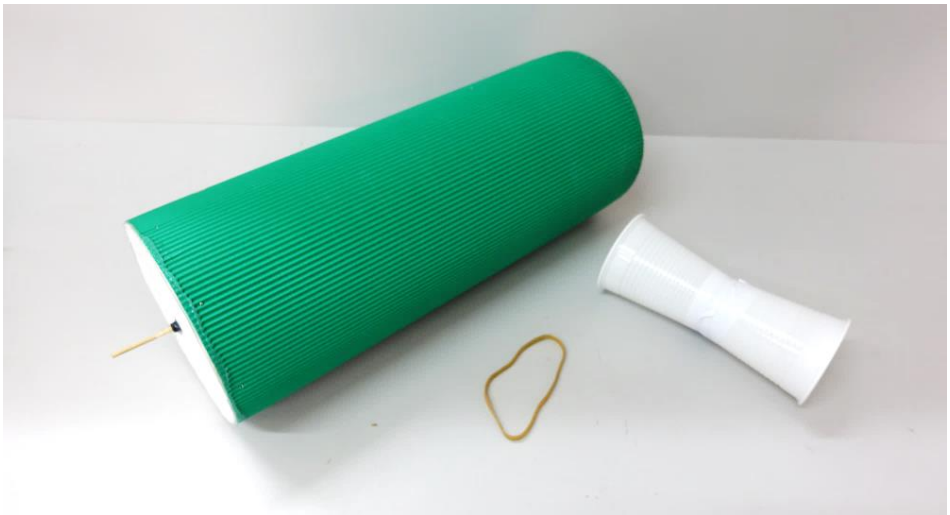
- hurkapálca
- hungarocell-korong (polisztirol-korong)
- hullámos karton
- műanyag eldobható pohár, 2 db
- ragasztószalag
- postásgumi (3 db)

Leírás

A Magnus-effektust demonstráló egyszerű szerkezet készíthető két, kör alakban kivágott polisztirol lapból és hullámos kartonból. A polisztirol köröket szúrjuk át a közepüknél hurkapálcával, majd a távolságukat állítsuk be kartonunk szélességének megfelelően. Ezután ragasszuk a kartont körbe a körön. A hullámok legyenek párhuzamosak a hurkapálcával. Az eszközt tartsuk magunk elé, majd ejtsük le. A henger függőlegesen zuhan. Ezt követően forgassuk be az ejtés előtt. Ekkor jól láthatóan eltér a pályája a függőlegestől.

Egy másik érdekes eszköz építhető műanyag poharakból. A műanyag poharak talpait ragasztószalaggal rögzítsük össze (ez lesz a sikló). A postásgumikat összefűzve készítsünk láncot. A lánc egyik végét fogjuk a szerkezet közepéhez, és enyhén megfeszítve hurkoljuk köré kétszer. Ha már csak egy pár centiméteres szabad vég maradt a gumiból, akkor feszítsük meg a gumi végét és lőjük ki az eszközt. Az interneten Magnus Glider néven sok videó található a siklóról.

Figyeljük meg mindkét eszköz esetén a forgásirány és a mozgás irányának kapcsolatát.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg a Magnus-effektust. Mi a forgásirány és az eltérülés kapcsolata?

Módszertani kiegészítések

- Milyen gyakorlati előfordulása, illetve alkalmazása van a Magnus-effektusnak?
- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan az alábbi szemléletes videókat bemutatni.

Magnus effektus bemutatása 200 m-ről

Roberto Carlos lehetetlen szabadrúgása

5.58. A közegellenállás vizsgálata

a) A közegellenállás alakfüggésének bemutatása

A kísérlet célja

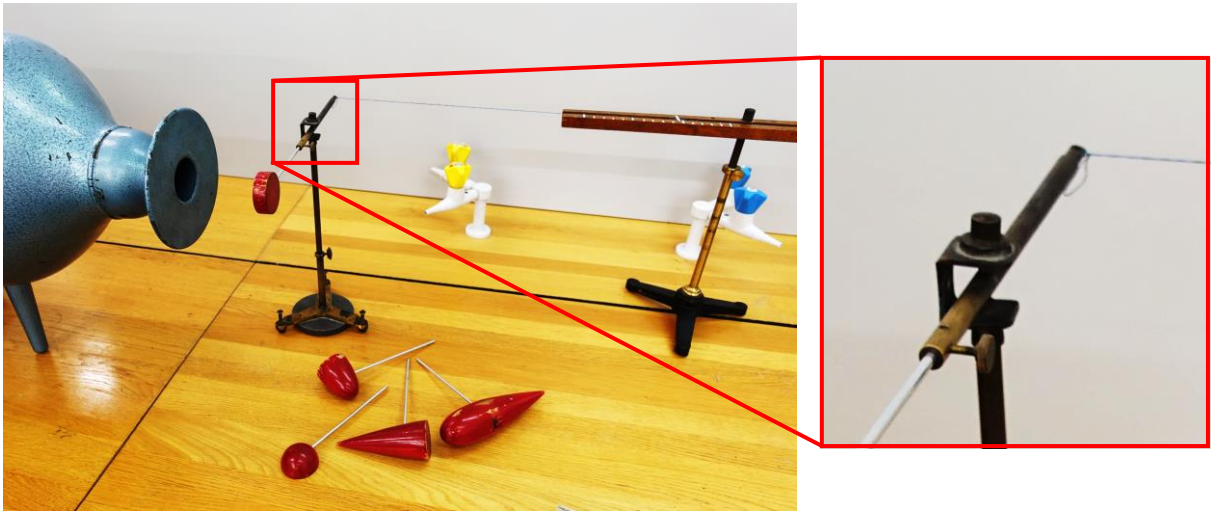
Áramló közegben nyugvó (vagy nyugvó közegben mozgó) testre a közegtől származó közegellenállási erőt befolyásoló tényezők közül a testalak hatásának bemutatása és az alaki tényező közelítő mérése.

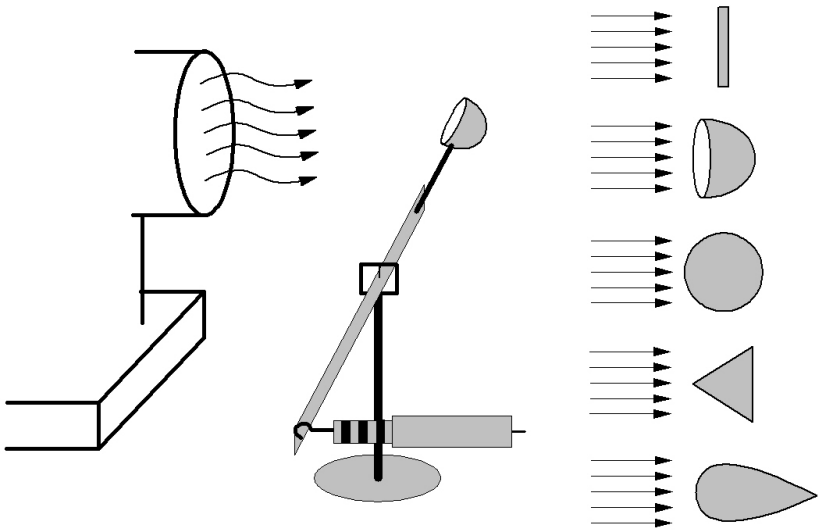
Szükséges anyagok, eszközök

- szélcsatorna (szűkítő szájjal), vagy egy erős hajszárító
- állványba rögzített, vízszintes dinamométer (rugós erőmérő)
- tűcsapágyas állványba rögzíthető különböző alakú próbatestek

Leírás

Vízszintes, szűkített szélcsatorna szájától kb. 10 cm-re helyezzük el a tűcsapágyas állványt az egyik oldalán a dinamométerrel, a másik oldalán az egyik belehelyezett próbatesttel, az ábrán látható módon. Az elhelyezésnél a következőkre kell figyelni: 1) a próbatestet tartó rúd legyen merőleges a szélcsatorna tengelyére, 2) a próbatest a szélcsatorna „közepén” legyen, 3) a rúd másik végére cérnával csatlakoztatott dinamométer a rúdra merőleges legyen, a cérnája legyen feszes, de az erőmérő közel 0-t mutasson. A szélcsatorna bekapcsolás után a test elmozdul. Ekkor az erőmérőt húzzuk hátra annyira, hogy a test a kiinduló pozíciójába kerüljön. Olvassuk le a dinamométer állását, majd helyezzünk be egy másik próbatestet. A próbatestek cseréje esetén ügyeljünk arra, hogy a próbatesteket az áramlási térnek mindig azonos helyére tegyük, hogy a forgatónyomatékok erőkarja minden mérésnél ugyanakkora legyen.





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Gyűjtsünk össze 1-2 technikai alkalmazást, melyekben az alaki tényező ismerete fontos szerepet játszik.
- Miért fontos, hogy a próbatestet tartó rúd merőleges legyen a szélcsatorna tengelyére?

Módszertani kiegészítések

- Ha nem csak demonstrálni szeretnénk a közegellenállási erő alaktól való függését, hanem számolni is, akkor figyeljünk arra, hogy olyan próbatesteket válasszunk, amelynek ugyanakkora a homlokfelülete.

b) A közegellenállás sebességfüggésének demonstrálása

A kísérlet célja

A közegellenállási erő sebességtől való függésének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- 9 db papírból készült, nagy nyílásszögű (kb. 120^o-os) kúp
- stopperóra

Leírás

Ejtsünk le először egy, majd négy, végül 9 egymásba helyezett papírkúpot 2-3 m magasból (hegyes végükkel lefelé), és mérjük az esés idejét! Rövid kezdeti szakasz után a kúpok állandó sebességgel mozognak, így a kúpokra ható nehézségi erő ezen szakasz után megegyezik a közegellenállási erővel.

Feladatok

- Foglaljuk az adatokat táblázatba, majd határozzuk meg, hogyan függ a közegellenállási erő a sebességtől. (Hanyagoljuk el a kezdeti, tranziens szakaszt.)

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért mozog a kúp a kezdeti szakasz után állandó sebességgel?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan az alábbi szemléletes videókat bemutatni.

Közegellenállás hatása visszatérő űrjárműre – Apollo 13 filmrészlet

Víz alatt saját magára lövő tudós

5.59. Légáramlás sebességének mérése Pitot–Prandtl-féle szondával

A kísérlet célja

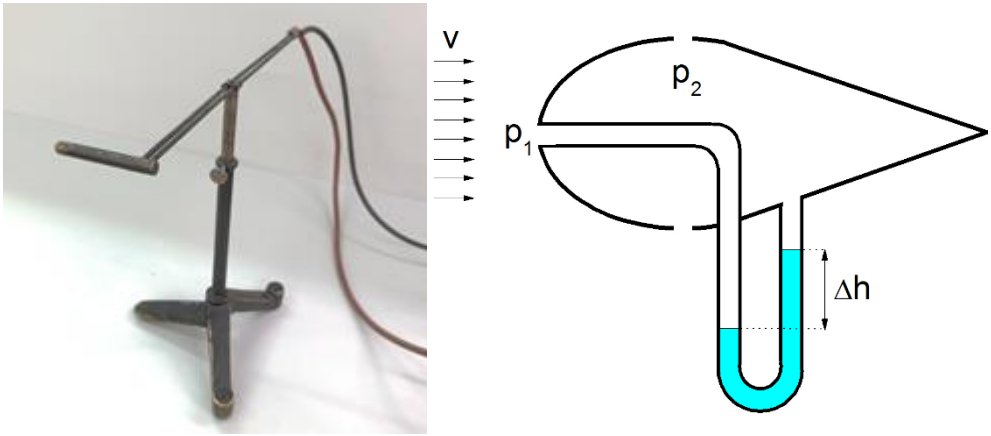
Légáramlás sebességének mérése alkalmas kísérleti elrendezés megismerése

Szükséges anyagok, eszközök

- szélcsatorna (szűkítő szájjal, Leybold) vagy hajszárító
- Pitot–Prandtl-féle szonda
- manométer

Leírás

A gázok áramlási sebességének mérésére szolgáló Pitot–Prandtl szonda a Bernoulli-törvény alapján működik. A következő két ábra az eszköz fényképét és elvi rajzát mutatja.



A szonda orrának és oldalának nyílása egy folyadék-manométer száraira csatlakozik. Az ábra szerint a légáramba tartott szonda orránál, azaz a torlódási helyen a levegő sebessége zérus, nyomása p_1, az oldalsó nyílásnál a sebesség v, a nyomás p_2. A Bernoulli-egyenlet alapján

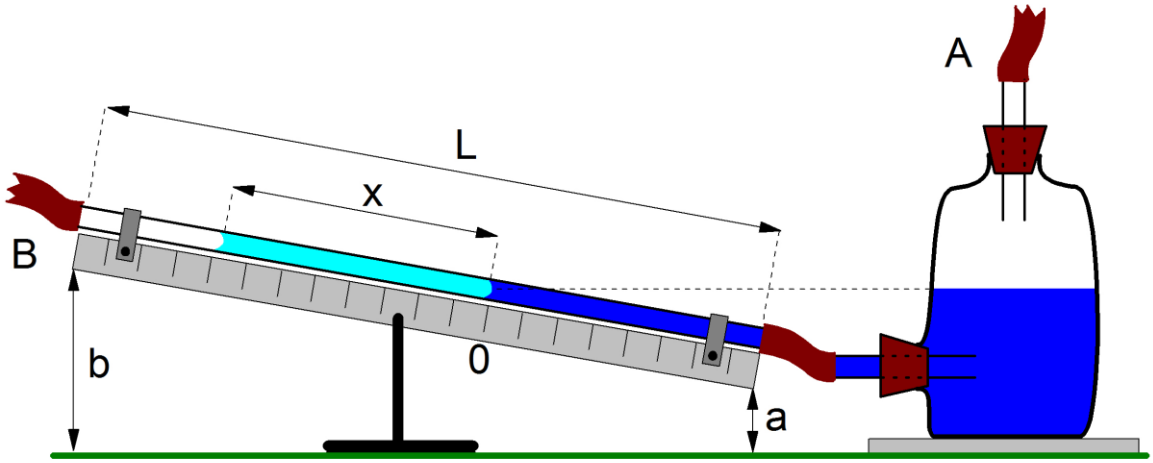
$$p_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho_{lev} v^2,$$

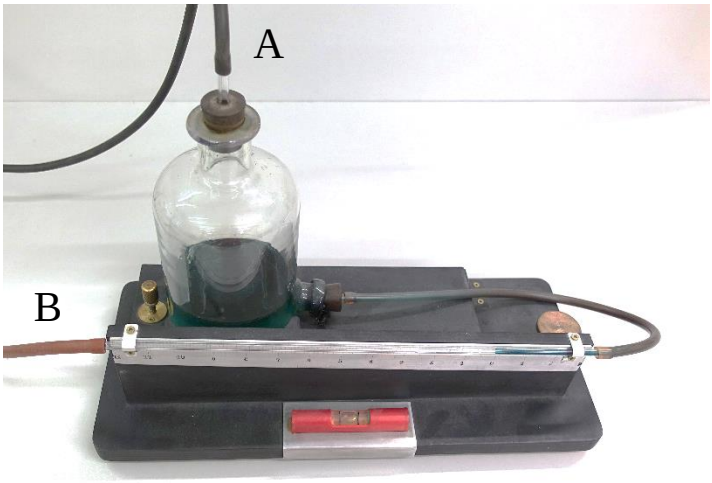
ahol ρ_{lev} a levegő sűrűsége. Az egyenletet átrendezve és felhasználva, hogy $p_1 - p_2$ nyomáskülönbség a manométer száraiban elmozduló folyadék Δh szintkülönbségéből származó hidrosztatikai nyomással egyenlő, kaphatjuk, hogy a levegő áramlási sebessége:

$$v = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho_{lev}}} = \sqrt{\frac{2\rho_{foly} g \Delta h}{\rho_{lev}}},$$

ahol ρ_{foly} a manométerben lévő folyadék sűrűsége.

A kis (10 m/s nagyságrendű) áramlási sebességekhez tartozó nyomás pontosabb mérésére speciális manométert használunk. A manométer két részből: egy átfúrt dugós Deville-palackból és a palack alsó nyílására gumicsővel csatlakozó, skálával felszerelt vékony üvegcsőből áll. Az üvegcsövet úgy rögzítsük, hogy az a vízszintessel kis szöget zárjon csak be.





A mérőszonda orrnyílásának kivezetése gumicsővel a manométer „A” végéhez. Az oldalának kivezetése a „B” csővégéhez csatlakozik. Használat előtt a készüléket vízszintezzük ki, és a mérőcső folyadékszintjét (a Deville-palack süllyesztésével vagy emelésével) a skála önkényesen választott 0 pontjához állítjuk. Ha most a szondát az áramlási térbe helyezzük, akkor a torlónyomás hatására az üvegcső folyadékoszlopa emelkedik, a palack folyadékszintje süllyed. Utóbbi azonban (a palack és az üvegcső átmérőinek viszonya miatt) elhanyagolható. A folyadékoszlop szintjének emelkedése (Δh) az oszlop elmozdulásából (x) és az eszköz geometriájából (a, b, L) számítható.

Feladatok

- A szélcsatornát fordítsuk vízszintes állásba, a szűkítőt vegyük le, az intenzitást állítsuk minimumra. Tegyük a szondát 10 cm-re a szélcsatorna szájától (pontosan a száj középvonalába). Kapcsoljuk be a szélcsatornát, majd növeljük lassan az intenzitást, amíg a vízszint el nem éri a 10-es jelzést. Számoljuk ki az áramlás sebességét! Távolítsuk a szondát és 10 cm-enként ismételjük meg a mérést (50 cm-ig). Ábrázoljuk az áramlási sebességet a távolság függvényében!
- Fújjunk a szondára 10 cm-ről, és mérjük meg a fújási sebességünket.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért kell speciálisan kialakított manométert használni jelen esetben a sebesség méréséhez?
- Hol használnak Pitot-Prandtl szondát?
- Használhatjuk-e a Pitot-Prandtl szondát szuperszonikus repülőgép sebességének mérésére?

5.60. Örvények konzervdobozból, házi füstfújó készítése

A kísérlet célja

Légörvény-gyűrű (füstkarika) stabilitásának bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Konzervdoboz
- Gumi hártya (pl. felvágott lufi vagy gumikesztyű)
- befőttes gumik
- Gyertya

Leírás

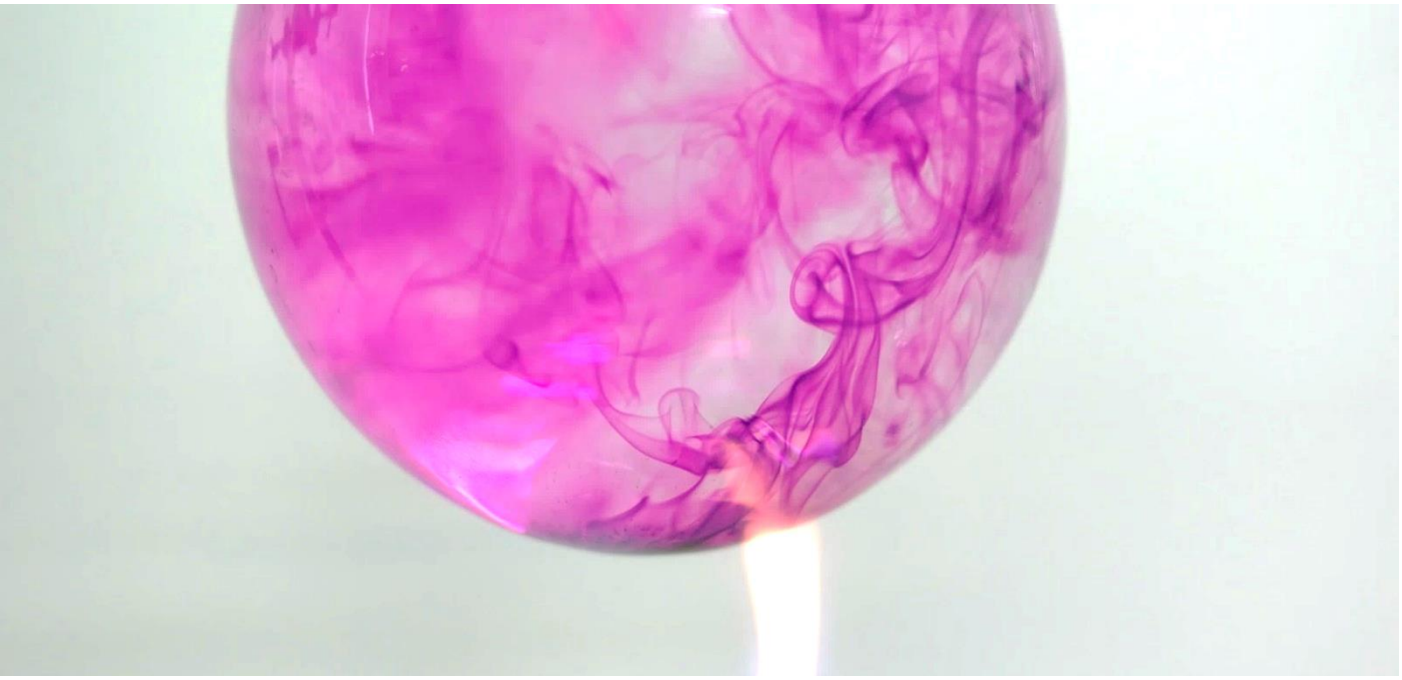
Fújjunk füstöt a dobozba, majd üssünk határozott mozdulattal a gumilapra. A nyíláson füstkarika (légörvény) lép ki. A karika folyamatosan tágulva 4-5 métert is halad, végül szétoszlik.

A légörvény stabilitására jellemző, hogy az útjába állított gyertya lángját még 2-3 méterről is eloltja. Próbáljuk ki az eloltást először füst nélkül.

Állítsunk a füstkarika útjába síklemezt (a tábla megfelelő a célnak). A karika a rugalmas ütközés törvénye szerint visszapattan, majd szétoszlik.

Módszertani kiegészítések

- Füst előállítása osztálytermi körülmények között nem egyszerű. Régebben a tanár feláldozta magát és cigarettára gyújtott (a tudomány érdekében). Manapság ez nem ajánlott. Erre megoldás lehet a képen látható cigarettafújó berendezés. Az eszköz egy üveghengerből (plexi is lehet), két átfúrt gumidugóból, valamint bele illeszkedő üvegcsövekből áll (az egyik cső belső átmérője egy cigaretta külső átmérőjének megfelelő). Az eszközbe egy égő cigarettát kell tenni, majd lezárni. A másik csövön befújva erős füstöt nyerhetünk. Ennek hiányában használhatunk gyufafüstöt vagy füstölőt.
- A füstkarika fenti előállítási módszere megegyezik azzal, hogyan lehet szivarozás közben füstkarikát fújni. Aki tehát társaságban villogni szeretne, a fenti módszer elvét felhasználva próbáljon meg füstkarikát fújni: szájával kört formálni és impulzusszerűen kifújni a füstöt.



6. Hőtan

6.1. Szilárd testek lineáris hőtágulása

a) Vékony fémpálca hőtágulásának szemléltetése fénymutató használatával

A kísérlet célja

Szilárd test hőtágulásának bemutatása, a hosszváltozás érzékelhetővé tétele.

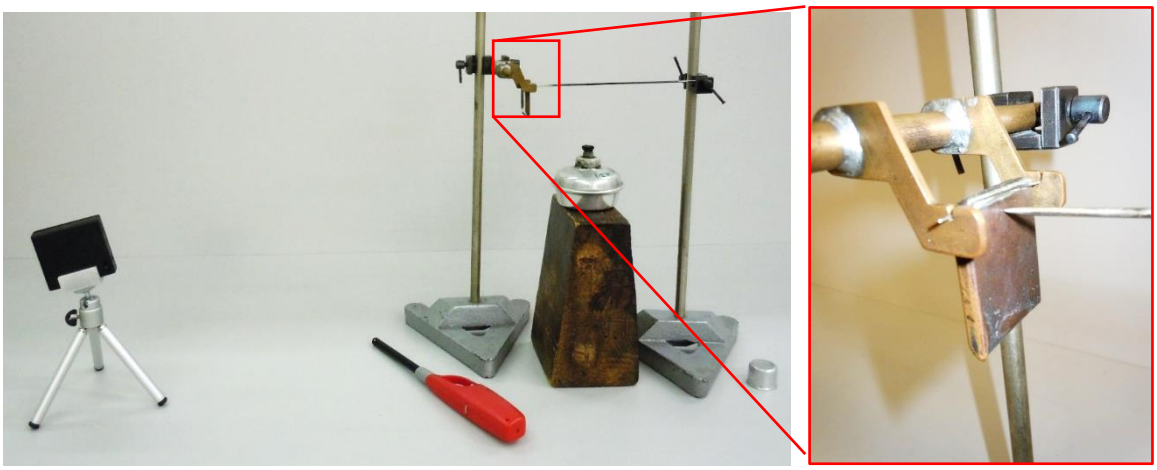
Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db Bunsen-állvány, dió
- hosszú, vékony fémpálca (pl. kötőtű vagy kerékpárküllő)
- megfelelően felfüggesztett, elfordulni képes tükör
- borszeszégő, gázgyújtó
- lézermutató állványon

Leírás

A fémpálcát a dióba befogva rögzítsük a Bunsen-állványhoz úgy, hogy a vége éppen hozzáérjen a felfüggesztett tükörhöz. (A jelenség annál látványosabb, minél közelebb esik a hozzáérési pont a tükör felső tengelyéhez.) Világítsuk meg a tükröt folyamatosan lézermutatóval, és a visszaverődő fénypontot irányítsuk a 2-3 méterre lévő falra/táblára. Jelöljük meg a fényfolt helyét. Melegítsük meg a pálcát Bunsen-égővel vagy borszeszégővel, a lángot mozgatva, hogy az egész pálca melegedjen.

Figyeljük meg a visszavert fénypont helyének változását.



b) Görgőn nyugvó vasrúd hőtágulásának kimutatása

A kísérlet célja

Szilárd test hőtágulásának bemutatása, a hosszváltozás érzékelhetővé tétele.

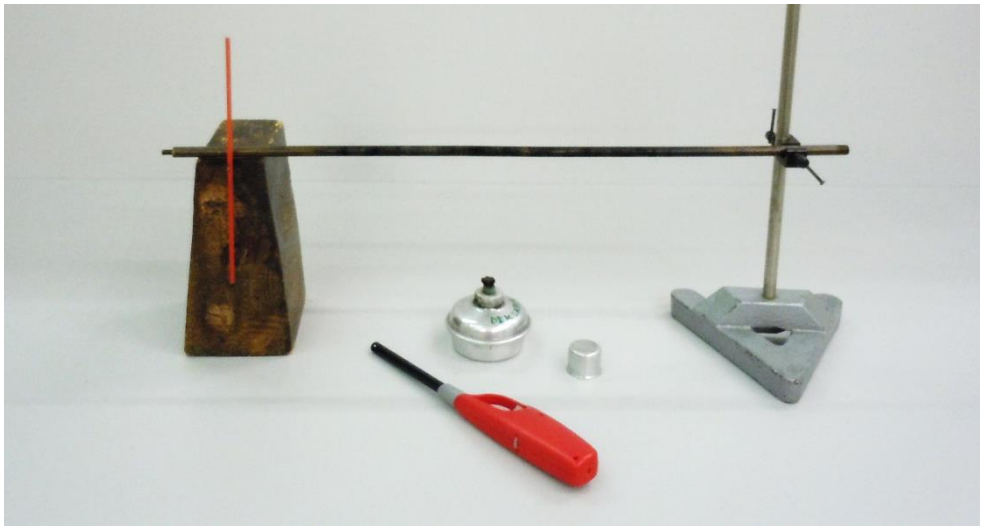
Szükséges anyagok, eszközök

- Bunsen-állvány, dió
- hosszú vasrúd (pl. Bunsen-állvány vasrúdja)
- borszeszégő, gázgyújtó
- szívószál tűvel átszúrva
- fakocka

Leírás

A vasrudat fogjuk be egyik végénél a Bunsen-állványba, másik végét támasszuk fel egy fakockára. Helyezzük a fakocka és a rúd közé a tűvel átszúrt szívószál tűjének hegyes végét. Így a tű görgőként szolgál. A tűre szúrt szívószál jelzi a kötőtű elfordulását. Melegítsük meg a vasrudat Bunsen-égővel vagy borszeszégővel, a lángot mozgatva, hogy az egész rúd melegedjen.

Figyeljük meg a szívószál-mutató elfordulását.



c) Különböző anyagú fémrudak hőtágulásának bemutatása nagy áttételű mechanikus mutatóval

A kísérlet célja

A hőtágulási együttható anyagfüggésének bemutatása szilárd testeknél.

Szükséges anyagok, eszközök

- nagy áttételű mutatókat tartalmazó eszköz (úgynevezett „emeltyűs pirométer”)
- különböző anyagú, egyforma hosszúságú fémrudak
- denaturált szesz, gyufa

Leírás

A csavarok segítségével fogjunk be két különböző anyagú, egyforma hosszúságú fémrudat az eszközbe. Ügyeljünk rá, hogy a rúd végének elmozdulására a mutató is elmozduljon (ezt pl. a rúd végén található csavar óvatos csavargatásával ellenőrizhetjük). Állítsuk be a két mutatót nulla helyzetbe. A fémrudak alatti kis tartóba öntsünk néhány cm^3-nyi denaturált szeszt. A flakon becsukása és távolra helyezése után gyújtsuk meg a folyadékot.

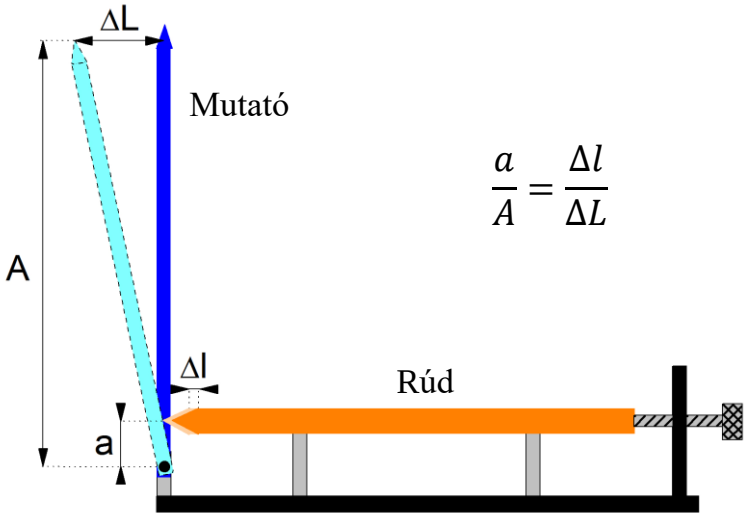
Figyeljük meg a mutatók különböző mértékű elmozdulását. (A kísérlet inkább csak kvalitatív módon szemlélteti a hőtágulási együttható anyagfüggését, kvantitatív mérésre általában nem alkalmas.)

Vigyázat!

Az alkohol lángja színtelen, ezért nehéz észlelni! Szigorúan tilos a lángra akár a flakonból, akár a kupakból újabb adag denaturált szeszt önteni! Szigorúan tilos a láng eltűnése után, a még forró tartóba denaturált szeszt önteni! Újabb kísérlet elvégzéséhez meg kell várni, míg az eszköz kihűl!

Módszertani kiegészítések

- Az eszköz működése sokszor nem megfelelő, a súrlódási erő és más tényezők gyakran nem várt eredményt hoznak. Fontos, hogy ez esetben meg tudjuk magyarázni a kísérlet eredményét a diákoknak, illetve a fenti felhívásnak megfelelően ne próbálkozzunk a forró fémre alkoholt töltve a kísérlet megismétlésével!
- Érdemes a kísérletet az óra első felében elvégezni, így a kihűlés során felhívhatjuk a diákok figyelmét a hőmérsékletcsökkenés hatására végbemenő hosszcsökkenésre.
- Az eszköz működésének magyarázatával a technikai részletek iránt érdeklődő diákokat lehet motiválni, emellett a geometria alkalmazásának bemutatásával új kontextusba lehet helyezni a tanulók matematikai ismereteit. A magyarázatban az alábbi ábra nyújthat segítséget.



d) Bimetálszalag melegítése és „tűzjelző modell” készítése

A kísérlet célja

A hőtágulási együttható anyagfüggésének bemutatása, a jelenség alkalmazásának modellezése.

Szükséges anyagok, eszközök

- bimetálszalag
- borszeszégő, gázgyújtó
- Bunsen-állvány, dió
- zsebtelep
- izzó, foglalatban
- röpzsinórok, 3 db
- krokodilcsipesz

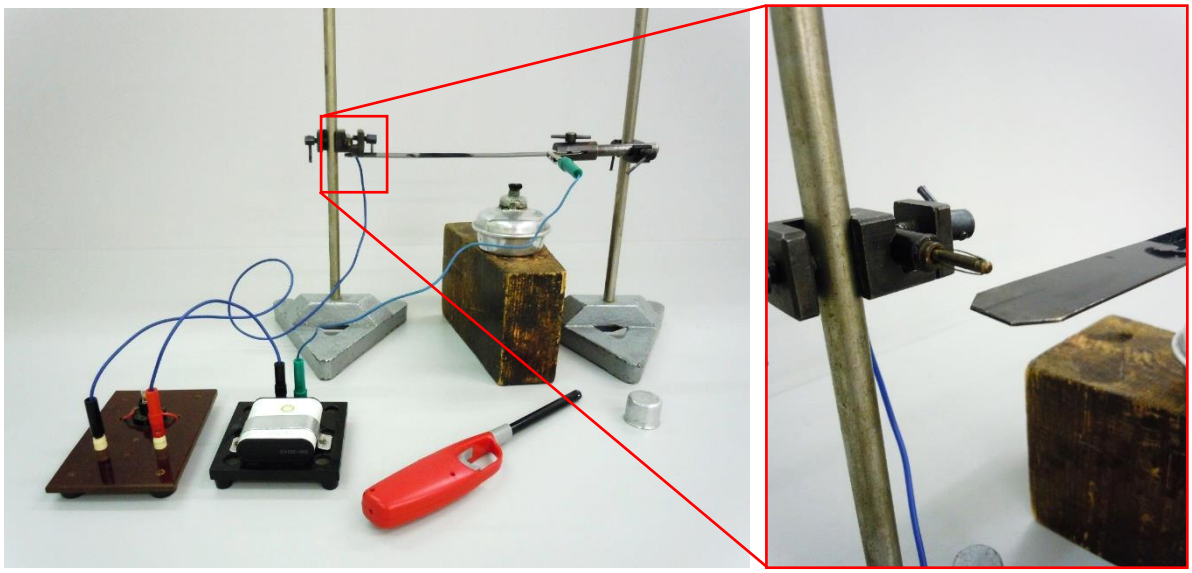
Leírás

1. A bimetálszalag két különböző anyagi minőségű fém egymáshoz szegecselésével hozható létre.

Mozgassuk a bimetálszalagot Bunsen-égő (vagy borszeszégő) lángjában úgy, hogy az egész szalag átmelegedjen. Figyeljük meg, ahogy a szalag meghajlik.

2. Rögzítsük Bunsen-állványba a bimetálszalagot, végeihez csatlakoztassunk röpzsinórok segítségével zsebtelepet és izzót (az alsó ábra szerint). A bimetall-szalag szabad végétől kb. 2-3 mm távolságban rögzítsük az egyik banándugót. (Természetesen abban az irányban, amerre a bimetálszalag elhajlását várjuk.)

Melegítsük meg egyenletesen a bimetálszalagot, és figyeljük meg, hogy megfelelő hőmérsékleten annyira meghajlik, hogy záródik az áramkör. Ezt az izzó kigyulladása jelzi. Így a tűzjelzők egy fajtájának egyszerű modelljét hoztuk létre.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi az anyagszerkezeti magyarázata a szilárd testek hőtágulásának?
- Miért szükséges fénymutatót, illetve nagy áttételű mechanikus mutatót használni a szilárd testek hőtágulásának bemutatásához?
- Milyen eszközökben alkalmaztak régebben, illetve manapság bimetálokat?

Módszertani kiegészítések

- A gimnáziumban általában a hőtan megelőzi az áram témakörét, azonban a diákok hétköznapi (esetleg általános iskolai) tapasztalataira építve nem okozhat gondot az összeállítás megértése.
- Középiskolában a hőtágulás tárgyalásakor általában nem szoktuk megmagyarázni miért van hőtágulás, ha mégis rákérdeznek a diákok, akkor azt az egyszerű szerkezeti magyarázatot szoktuk társítani hozzá, hogy magasabb hőmérsékleten az atomok jobban rezegnek, így nagyobb „területet” foglalnak el. Ez első közelítésnek elfogadható, de vegyük észre, hogy ha változatlan egyensúlyi helyzet körül rezegnének hevesebben, akkor nem lenne hőtágulás. Az atomok viszont egy aszimmetrikus potenciálvölgyben „ülnek”, így a hőmérséklet növekedésével, nemcsak a rezgés amplitúdója, de az atomok átlagos távolság is nő.
- Ebben témakörben mindenképpen érdemes a víz rendellenes hőtágulási viselkedéséről is beszélni, valamint annak hétköznapi hatásairól.
- Szorgalmi feladatnak kiadható a diákoknak, hogy a mai tűzjelzők milyen elven működnek.
- A bimetál hőtágulásához kapcsolódóan érdekes analógiát hozhatunk a diákoknak arra vonatkozóan, hogy miért növekednek a növények a fény felé.

6.2. Test és üreg hőtágulásának megfigyelése a Gravesande-kísérlettel („golyó+karika”)

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy az üregek is úgy tágulnak, mintha anyaggal lennének kitöltve.

Szükséges anyagok, eszközök

- azonos anyagból készült, egyforma átmérőjű golyó és karika, nyélen (ún. S’Gravesande-készülék)
- borszeszégő, gázgyújtó

Leírás

Mutassuk meg, hogy szobahőmérsékleten a golyó éppen átfér a karikán. Melegítsük meg a lángban csak a golyót, majd mutassuk meg, hogy így már nem fér át a karikán. Melegítsük meg együtt a golyót és a karikát a lángban, kb. egyforma hőmérsékletűre. Mutassuk meg, hogy a golyó ismét átfér a karikán.

Módszertani kiegészítések

- A diákokat érdemes előre megkérdezni és megszavaztatni a kísérletek várható kimeneteléről, így jobban fogja érdekelni őket, hogy igazuk lett-e. Az együtt melegítésnél a többség azt szokta mondani, hogy úgysem fog átférni, mert a lyuk szűkül. Fontos megbeszélni a lyuk tágulásának okát (pl. „ha ott anyag lenne, az is tágulna”, ha befelé tágulna, akkor az atomok közelebb kerülnének egymáshoz, nem pedig távolabb).

6.3. Folyadékok hőtágulása

A kísérlet célja

Folyadék hőtágulásának bemutatása, láthatóvá tétele.

Szükséges anyagok, eszközök

- 1000 cm^3-es lombik
- átfúrt dugó a lombikban, benne kis üvegcső
- folyadék
- befőttesgumi vagy alkoholos filctoll
- nagyobb főzőpohár (vagy fém fazék), amibe a lombik teljesen belefér
- meleg (forró) víz

Leírás

A lombikot töltsük meg színültig a festett vízzel, majd nyomjuk bele a dugót, amiben a kis üvegcső van. A festett víz az üvegcsőbe is benyomul kissé. Jelöljük meg a folyadék szintjét befőttesgumival vagy alkoholos filctollal. Mártsuk meleg vízbe a lombikot úgy, hogy teljesen elmerüljön a vízben.

Figyeljük meg a színezett folyadék szintjének változását a kis üvegcsőben: előbb kissé süllyed majd jelentősen megemelkedik.

Módszertani kiegészítések

- Szemfülesebb diákok észre vehetik, hogy a folyadék szintje először kicsit süllyed. Ezt nem szabad magyarázat nélkül hagyni: először a lombik üvegfala kezd el tágulni, ami miatt egy kevés víz vissza tud folyni a csőből. A vizet a lombik fala kezdi el melegíteni, csak ezt követően kezd el emelkedni a vízszint. Azt is meg lehet kérdezni a diákoktól, hogy szerintük melyik anyagnak nagyobb a hőtágulási együtthatója a kísérlet alapján: a víznek vagy az üvegnek. Jó felhívni a figyelmüket, hogy ha azonos lenne a hőtágulási együtthatójuk, akkor a csökkenés után az eredeti szintre állna be a folyadékszint és nem emelkedne gyorsan.

6.4. Gázok hőtágulása

A kísérlet célja

Gázok hőtágulásának bemutatása, a térfogatváltozás mértékének érzékeltetése.

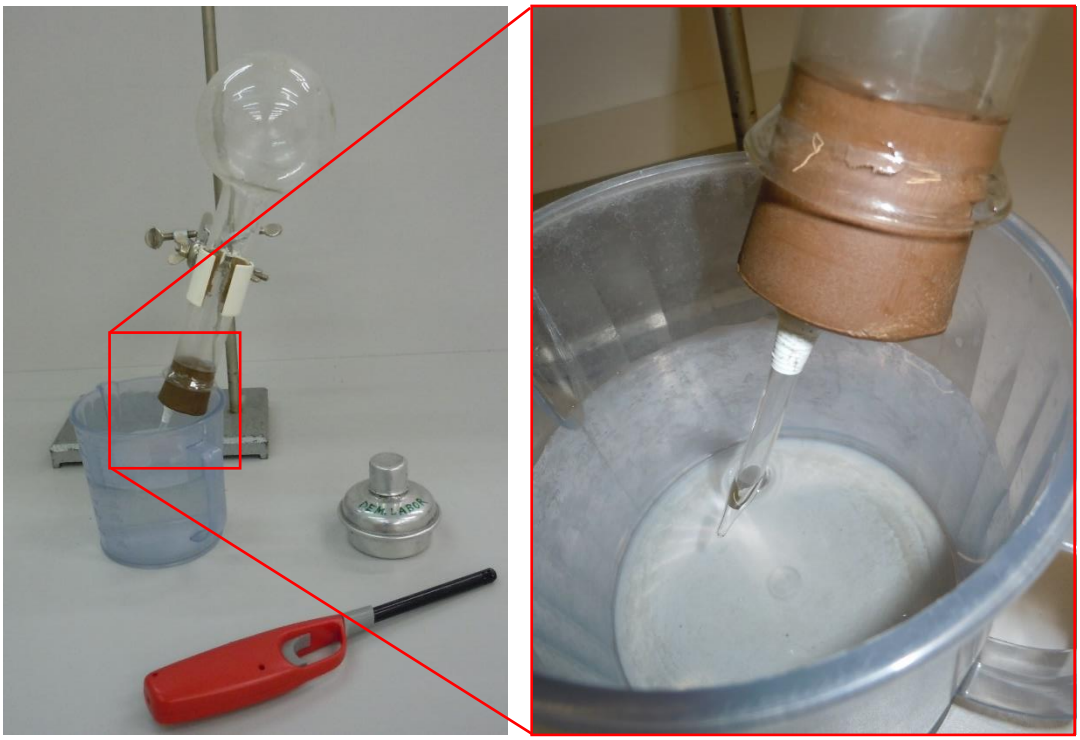
a) Felmelegített lombik

Szükséges anyagok, eszközök

- 500 cm^3-es gömblombik
- átfúrt dugó, benne kis üvegcső
- borszeszégő, gázgyújtó
- főzőpohár, benne víz

Leírás

Zárjuk le az átfúrt dugóval az üres lombikot, és a cső végét fordítsuk a főzőpohárban levő vízbe. Két kezünk melegével melegítsük a lombikot. Figyeljük meg a buborékokat a cső végénél. Melegítsük meg ezután a lombikot óvatosan borszeszégővel. A táguló levegő sokkal gyorsabban kezd el kiáramlani a lombikból.



b) A levegő hőtágulásának és nyomásváltozásának egyszerű demonstrálása lombikra csatlakozó nyitott vízmanométerrel

Szükséges anyagok, eszközök

- gömblombik
- átfúrt dugó, benne rövid üvegcső, gumicső-csatlakozások
- vízmanométer

Leírás

Zárjuk le az átfúrt dugóval az üres lombikot, az üvegcsövet csatlakoztassuk a gumicsövekkel a vízmanométerhez! Két kezünk melegével melegítsük a lombikot. Figyeljük meg, hogy a bezárt levegőnek a térfogata és a nyomása is megnő a melegítés hatására.

6.5. Gázok állapotváltozásai

A kísérlet célja

Gázok speciális állapotváltozásait leíró törvények bemutatása, igazolása.

a) A Boyle-Mariotte-törvény szemléltetése hengerbe bezárt gázzal

Szükséges anyagok, eszközök

- A Boyle-Mariotte-törvény bemutatására szolgáló eszköz

Leírás

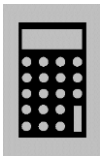
Az eszköz egy átlátszó falú hengerből, egy ehhez csatlakoztatott nyomásmérőből és a hengert légmentesen záró dugattyúból áll. A dugattyút a képen jobb oldali kar csavarásával lehet benyomni, illetve kihúzni. Figyeljük meg, hogy a dugattyú benyomásával növekszik a bezárt levegő nyomása, a dugattyú kihúzásával pedig csökken.

Feladat:

- Állítsuk be a dugattyút úgy, hogy a nyomás pontosan 1 bar legyen. Mérjük meg a dugattyú által lezárt léghenger paramétereit (átmérő, hossz). Határozzuk meg a levegő térfogatát!
- Növeljük a belső nyomást a dugattyú benyomásával 0,5 bar lépésekben 3 bar nyomásig. Minden lépésben mérjük meg az összenyomott levegőoszlop hosszát és határozzuk meg a térfogatát.
- Csökkentsük a belső nyomást a dugattyú kihúzásával. 1 bar-ról indulva, 0,1 bar lépésekben 0,5 bar nyomásig. Minden lépésben mérjük meg az összenyomott levegőoszlop hosszát és határozzuk meg a térfogatát!
- Az összetartozó nyomás- és térfogatértékeket foglaljuk táblázatba, ábrázoljuk grafikonon és számítsuk ki a szorzatukat ($p_i \cdot V_i$).
- Elemezzük az adatokat és értékeljük az eredményeket. Vessük össze őket a Boyle–Mariotte-törvénnyel.

Módszertani kiegészítések

- Fontos, hogy a dugattyút a csavarral, lassan mozgassuk, hogy legyen idő a hőmérséklet kiegyenlítődésére. Így a hőmérséklet valóban állandónak tekinthető a folyamat során.
- A Boyle-Mariotte- törvény szemléltetésére és kvantitatív bemutatására régebben a Melde-cső nevű eszköz volt használatos. Ezt ma már azonban több okból sem használjuk. Egyrészt, mert higanyra lenne szükség hozzá, másrészt a számításokhoz olyan fizikai és matematikai ismeretekre volna szüksége a diákoknak, melyekre csak későbbi évfolyamokon tesznek szert.



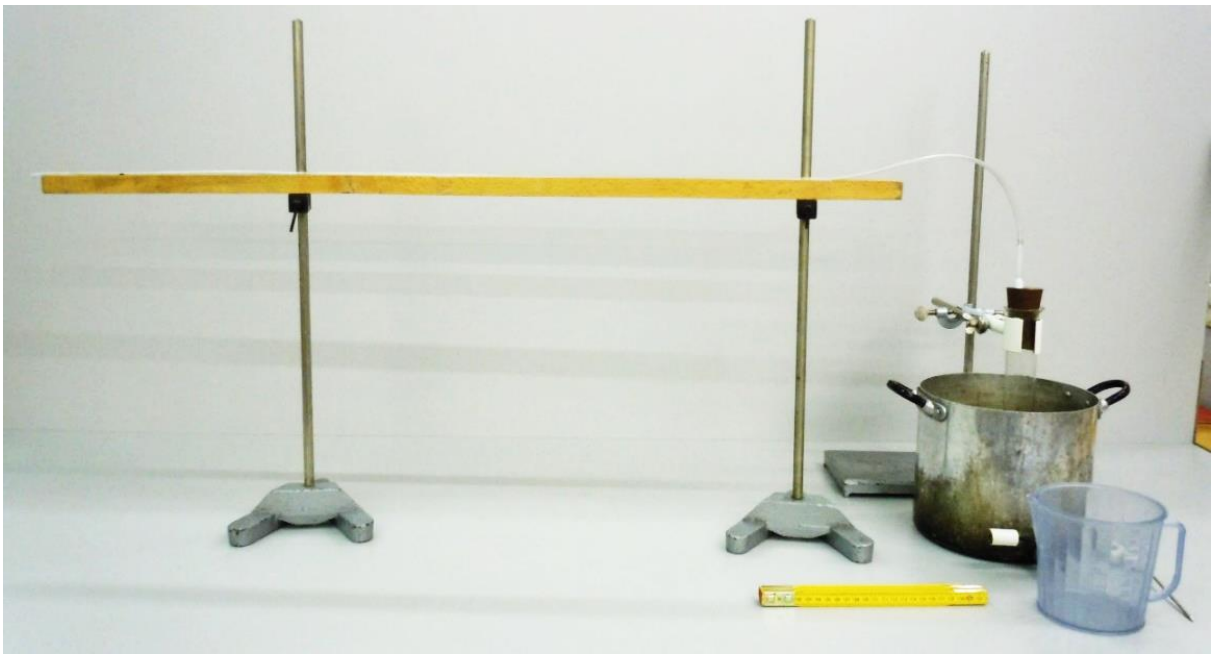
b) Gay-Lussac I. törvényének igazolása

Szükséges anyagok, eszközök

- 500 cm^3-es gömblombik, benne átfúrt dugó vékony csővel (ismert össztérfogattal)
- 3 db Bunsen-állvány
- 3 db dió
- lombikfogó
- nagyméretű fémedény vízfürdőnek
- hőmérő
- méterrúdra rögzített színtelen, átlátszó gumicső (ismert hosszal és belső átmérővel)
- festett folyadék (pl. metilénkékkel színezett víz)
- cseppentő
- műanyag csőrös pohár

Leírás

A fémedénybe töltsük a meleg vizet a csappból, rögzítsük az üres lombikot a Bunsen-állványhoz és merítsük a vízfürdőbe! Zárjuk le az átfúrt dugóval. Helyezzük a méterrudat a Bunsen-állványra rögzített diókra. A gumicső nyitott vége bal oldalon legyen. Másik végét csatlakoztassuk a dugóból kiálló vékony üvegcsőhöz. Várjunk pár percet, míg a lombikban lévő levegő átveszi a vízfürdő hőmérsékletét. Cseppentsünk egy csepp színezett vizet a gumicső nyitott végébe, hogy a kis festékcsepp teljesen lezárja a cső nyílását. Ez a „könnyen mozgó dugattyú”, mely a kísérlet során biztosítja az állandó nyomást. Mérjük meg a vízfürdő hőmérsékletét.



Feladat:

- Hűtsük a vízfürdőt. Engedjünk ki a fémedényből 1-2 dl meleg vizet és pótoljuk hideggel. Keverjük össze a vizet és mérjük meg a hőmérsékletét! Figyeljük meg, ahogy a színezett csepp elmozdul a csőben. Mérjük meg a cső végétől számított távolságot.
- Mérjünk legalább 5 összetartozó hőmérséklet-elmozdulás adatpárt, ügyelve arra, hogy egy-egy lépésben 4-5°C-kal hűljön a víz (s így a bezárt levegő) hőmérséklete.
- Figyelembe véve a lombik pontos térfogatát és a gumicső térfogatát, határozzuk meg a bezárt levegő térfogatát az egyes hőmérsékleteken.
- Az összetartozó hőmérséklet- és térfogatértékeket foglaljuk táblázatba, ábrázoljuk grafikonon és számítsuk ki a hányadosukat (V_i/T_i).
- Elemezzük az adatokat és értékeljük az eredményeket. Vessük össze az elméleti várakozásokkal.
- Végezzünk becslést az abszolút nulla hőmérsékletre.

c) Gay-Lussac II. törvényének igazolása

Szükséges anyagok, eszközök

- 500 cm^3-es gömblombik, benne átfúrt dugó vékony csővel
- Bunsen-állvány, dió
- lombikfogó
- nagyméretű fémedény vízfürdőnek
- hőmérő
- nyomásmérő szenzor, adatgyűjtő
- műanyag csőrös pohár
- vízforraló

Leírás

A fémedénybe töltsünk forró vizet a vízforralóból. Rögzítsük az üres lombikot a Bunsen-állványhoz és merítsük a vízfürdőbe. Zárjuk le az átfúrt dugóval. Csatlakoztassuk a nyomásmérő szenzort a lombikhoz a dugóból kiálló vékony üvegcsövön keresztül. Kapcsoljuk be az adatgyűjtőt.

> ***Vigyázat!***
>
> A nyomásmérő szenzort és az adatgyűjtőt ne érje víz, kényes és drága műszerek.

Feladat:

- Mérjük meg a vízfürdő hőmérsékletét és a bezárt levegő nyomását.
- Hűtsük a vízfürdőt. Engedjünk ki a fémedényből 1-2 dl forró vizet és pótoljuk hideggel. Keverjük össze a vizet és mérjük meg a hőmérsékletét!
- Mérjünk legalább 5 összetartozó hőmérséklet-elmozdulás adatpárt, ügyelve arra, hogy közel egyenlő lépésekben hűljön a víz (s így a bezárt levegő) hőmérséklete.
- Az összetartozó hőmérséklet- és nyomásértékeket foglaljuk táblázatba, ábrázoljuk grafikonon és számítsuk ki hányadosukat (p_i/T_i).
- Elemezzük az adatokat és értékeljük az eredményeket. Vessük össze az elméleti várakozásokkal.

d) Hérón-labda/szökőkút kísérlet

Szükséges anyagok, eszközök

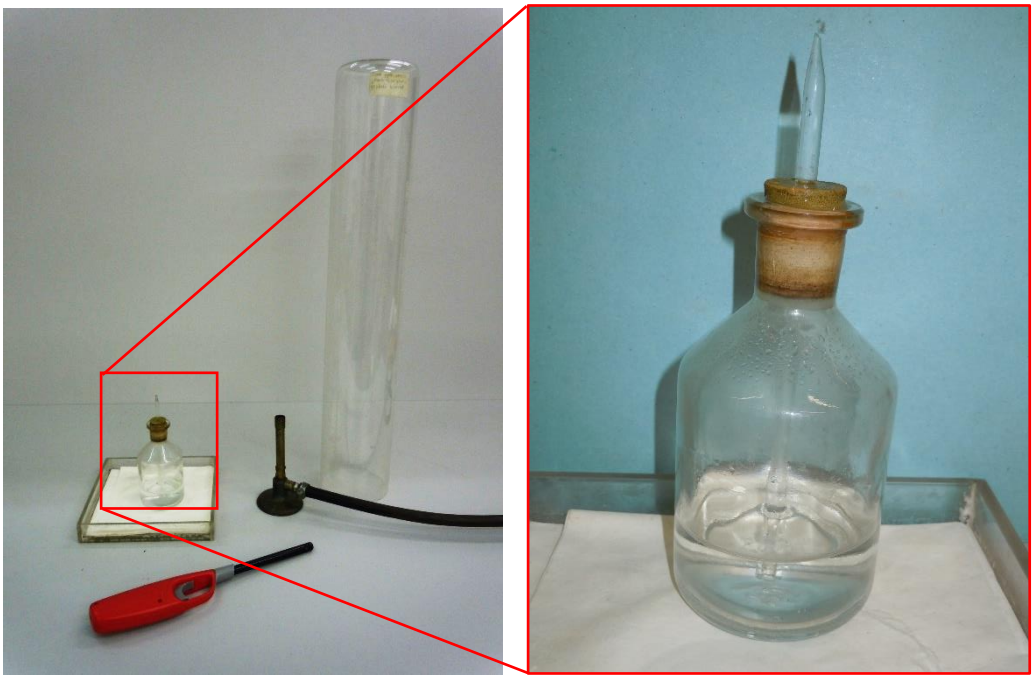
- kisméretű gömblombik
- átfúrt dugó, benne hosszú, elvékonyított végű üvegcső
- itatóspapír
- tálca
- egyenes peremű, nagy átmérőjű üveghenger
- Bunsen-égő vagy borszeszégő

Leírás

Töltsük meg a kis gömblombikot kb. harmadáig festett vízzel, és zárjuk le az átfúrt dugóval. A dugón átszúrt üvegbotot úgy állítsuk be, hogy belelógjon a folyadékba és a vége a lombik aljától pár mm-re legyen. Az így elkészített eszköz a Hérón-labda.

Helyezzünk itatóspapírokat a tálcára és vízzel alaposan áztassuk át őket. Állítsuk az itatóspapírokra a Hérón-labdát. Az üveghengert szájával lefelé fordítva tartsuk kis ideig Bunsen-égő lángja fölé (csak a benne levő levegő melegedjen, a henger fala ne)! A melegítés befejezése után egyből borítsuk le vele a Hérón-labdát, ügyelve arra, hogy a henger szája légmentesen zárjon az itatóspapíron.

Figyeljük meg, hogy a színezett folyadék szökőkútszerűen kispriccel a Hérón-labdából.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért fontos, hogy az üveghenger hideg maradjon (tehát, hogy azt se a kezünkkel fogdosva, se a gázlánggal ne melegítsük fel)?

Módszertani kiegészítések

- A kísérleti eszköz PET-palackokból egyszerűen házilag is elkészíthető.
- Mind a Hérón-labda, mind a Hérón-szökőkút elnevezés csalóka. Hérón-labdának hívják még Hérón híres gőzforgóját is, valamint általában Hérón-szökőkútnak egy három víztartályos passzív elemekből álló szökőkutat neveznek.
- Magyarázatkor gyakran hallani, hogy a nagy üveghengerben lecsökken a nyomás és az „szívja” ki a vizet a Hérón-labdából. Ügyeljünk a szóhasználatra! A nyomás nem tud szívni. A Hérón-labdában lévő nagyobb nyomás nyomja ki a vizet, vagy a nyomáskülönbség hatására a víz kispriccel.

6.6. A Boltzmann állandó számértékének meghatározása étergőz parciális nyomásának mérésével

A kísérlet célja

Egy természeti állandó (Boltzmann-állandó) értékének közelítő meghatározása egyszerű módon.

Szükséges anyagok, eszközök

- 5,6 dm^3 térfogatú üveg, dugóval lezárható
- átfúrt gumidugó, benne üvegcső, valamint injekciós tű
- vízmanométer (kb. 50 cm-es szárakkal)
- injekciós fecskendő
- dietil-éter (=”éter”)

Leírás

Zárjuk le a 5,6 dm^3-es üveget gumidugóval. A furatban lévő üvegcsövön keresztül gumicső segítségével csatlakoztassuk a vízmanométerhez, úgy hogy a szárakban a víz azonos magasságban legyen, így tudjuk, hogy a bezárt levegő nyomása egyenlő a külső légnyomással. Az injekciós fecskendőbe szívjunk maximum 1 cm^3 étert és csatlakoztassuk a gumidugóban lévő tűhöz. Hirtelen fecskendezzük be az üvegbe és a fecskendőt hagyjuk csatlakoztatva. Az éter elpárolog, így megnöveli a belső légtér nyomását. Olvassuk le a nyomásnövekedés értékét és ennek segítségével határozzuk meg a Boltzmann-állandó közelítő értékét. Hasonlítsuk össze az irodalmi értékkel.

Szükséges adatok

Az éter sűrűsége: $\rho_{éter} = 0{,}74\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}}$

A dietil-éter moláris tömege: $M_{éter} = 74\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}$

Útmutató a számítás elvégzéséhez

1. A befecskendezett folyékony éter térfogatából és moláris tömegéből számítsuk ki az étermolekulák számát.

2. Írjuk fel az ideális gáz állapotegyenletét (benne természetesen a Boltzmann-állandót szerepeltetve)

- a kezdeti bezárt levegő állapotjelzőivel;
- az éter befecskendezése és elpárolgása után bezárt gáz állapotjelzőivel.

A légtér térfogata és a bezárt gáz hőmérséklete állandónak tekinthető.

3. Az egyenletrendszert megoldva számítsuk ki a Boltzmann-állandó értékét.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért étert használunk a kísérletben?
- Milyen más természeti állandók segítségével, és hogyan lehet kiszámítani a Boltzmann-állandót? Írjunk ehhez is egyenletet!

6.7. Víz felszívása gyertyával

A kísérlet célja

Gáztörvények alkalmazására szolgáló egyszerű kísérlet bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- üvegpohár
- kristályosító csésze (átmérője nagyobb a pohárénál)
- gázgyújtó vagy gyufa
- gyertya

Leírás

A gyertyát állítsuk a kristályosító csészébe, aminek aljába előzőleg kb. 1 cm magasságig vizet töltöttünk. Gyújtsuk meg a gyertyát, és borítsuk rá a poharat. Fogalmazzuk meg a tapasztaltakat, és magyarázzuk a jelenséget!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A jelenséget gyakran szokás úgy magyarázni, hogy az elfogyó oxigén miatt következik be. Hogyan lehet megcáfolni ezt az értelmezést?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes ráborítás előtt egy kicsit a poharat a láng fölött tartani és így a benne lévő levegőt melegíteni, mert akkor nagyobb lesz a hatás.

6.8. Olvadó jég és forrásban levő víz hőmérsékletének mérése

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a halmazállapot-változások során a hőmérséklet nem változik.

Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db 250 cm^3-es főzőpohár
- 2 db üvegbot
- hőmérő
- vasháromláb, agyagos drótháló
- Bunsen-égő, gázgyújtó
- hőálló kőlap
- jég (ennek aprításához kalapács, rongy, deszka)
- víz

Leírás

Törjük apró darabokra a jeget kalapáccsal, rongyba csavarva (jégdarát is használhatunk). Szórjuk a kristályokat az egyik főzőpohárba. Megfelelő időközönként mérjük meg és jegyezzük fel a hőmérsékletét. A másik főzőpohárba öntsünk meleg vizet. A hőálló kőlapra helyezzük rá a vasháromlábat és az agyagos drótházat. Ezen szúró lánggal melegítsük a vizet forrásig a Bunsen-égő lángjával. Megfelelő időközönként mérjük meg és jegyezzük fel a víz hőmérsékletét. Mivel a víz forrásig való melegítése hosszú időt vesz igénybe, a melegítést érdemes az óra első felében elkezdeni. Közben tovább lehet haladni az anyaggal, folyamatosan szemmel tartva a melegítést.

> ***Vigyázat!*** Ne kevergessük a jeget vagy a vizet a hőmérővel! A hőmérőt használat során végig tartsuk a kezünkben, ne támasszuk le a melegített főzőpohár aljához érintve.

Feladatok

- A mért adatok és előzetes ismereteink alapján készítsünk grafikont, melyen a melegített víz (jég-víz-gőz) hőmérsékletét ábrázoljuk a befektetett hő függvényében. Gondolatban

induljunk ki -20 °C hőmérsékletű jégből és 120 °C hőmérsékletű gőzállapotig ábrázoljuk.

- Különítsük el az egyes szakaszokat és magyarázzuk meg őket.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a magyarázata, hogy olvadás és forrás közben a víz hőmérséklete nem változik?
- Mit állíthatunk az egyes szakaszok egymáshoz viszonyított hosszúságáról és az egyenesek egymáshoz viszonyított meredekségéről? Milyen mennyiségekhez köthetők ezek?
- Miért marad abba a forrás azonnal, ha a gáztűzhelyen lévő forrásban lévő víz alatt eloltjuk a lángot?

Módszertani kiegészítések

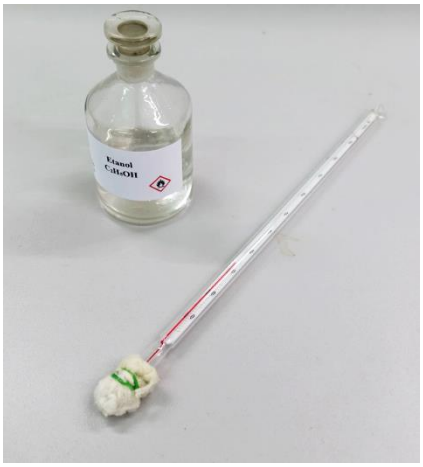
- A forrásban lévő víz hőmérsékletének megmérése előtt érdemes megkérdezni és megszavaztatni a diákokat arról, hogy vajon hány fokig tudjuk melegíteni a vizet, ha a forrás megindulása után még 5-10-15 percig melegítjük?
- A kísérlet tanulságai alapján indokoljuk meg, jó volt-e Celsius választása a hőmérsékleti alappontokra?

6.9. Párolgó folyadék hőmérsékletének mérése

A kísérlet célja

A párolgás endoterm voltának szemléltetése.

Szükséges anyagok, eszközök



- hőmérő (lehetőleg folyadékos, de digitális is megfelelő)
- vatta
- kis átmérőjű befőttes gumi
- alkohol, vagy éter

Leírás

A vattát mártsuk alkoholba, és befőttes gumi segítségével rögzítsük a hőmérő folyadékzsákjához. Lengessük meg kissé a hőmérő alját. Megfelelő időközönként mérjük meg és jegyezzük fel a hőmérsékletet.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért érdemes vizet úgy forralni a tűzhelyen, hogy fedőt teszünk a lábasra?
- Mit nevezünk endoterm folyamatnak? Foglaljuk össze az endoterm folyamatok jellemzőit.
- Mi az anyagszerkezeti magyarázata a párolgás endoterm mivoltának?
- Mely halmazállapot-változások endotermek, melyek exotermek? Szemléltessük egy-egy hétköznapi példával is!

Módszertani kiegészítések

- A hétköznapi tapasztalatok alapján a diákok elsősorban az olvadás endoterm jellegét ismerik (jégkocka), emellett a párolgáshoz is kapcsolódnak kevésbé tudatos élményeik (fürdés után fáznak). Fontos rámutatni, hogy a fagyás és a lecsapódás során ugyanaz a folyamat játszódik le fordítva, így a hőátadás iránya is megfordul.

6.10. „Szomjas kacsa”

A kísérlet célja

A párolgás jellemzőinek bemutatása egy kereskedelmi forgalomban kapható játékszer fizikai hátterének bemutatásával.

Szükséges anyagok, eszközök

- „Bólogató kacsa”
- megfelelő magasságú pohár
- üvegkád

Leírás

A műanyag poharat töltsük meg majdnem színültig vízzel. A mennyiség akkor jó, ha a kacsa fejét belenyomva a víz még nem folyik ki a pohárból. Kezdetben „itassuk meg” a kacsát jó alaposan (dugjuk a fejét vízzel telt pohárba) és hagyjuk magára úgy, hogy pont a pohárba tudjon dőlni.

Figyeljük egy darabig a kacsa ismétlődő mozgását, majd borítsuk rá óvatosan az üvegkádat és hagyjuk magára. Megfelelően sok idő elteltével nézzük meg újra az eszközt.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg a játék működését!
- Mi történt és miért, miután az üvegkádat ráborítottuk?

6.11. A forráspont nyomásfüggésének bemutatása

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a víz forráspontja alacsonyabb nyomáson kisebb.

a) Fecskendővel

Szükséges anyagok, eszközök

- injekciós fecskendő
- víz

Leírás

Az injekciós fecskendőbe szívjunk kb. negyedrészig vizet. Fogjuk be a fecskendő nyílását ujjunkkal, majd hirtelen mozdulattal húzzuk meg a dugattyút. Figyeljük meg, hogy buborékok szállnak fel a vízből.

Módszertani kiegészítések

- Mutassuk meg a diákoknak, hogy a víz hőmérséklete alacsony. Meleg víz használatával a kísérlet könnyebben elvégezhető és látványosabb is, viszont kisebb meglepetést okoz, mint a hideg víz forrása.
- A kísérlet megdöbbentő a diákság számára. A figyelemfelkeltő mivoltát ki kell használni! Mikor kihúzva tartjuk a fecskendőt, melyben forr a víz, akkor kérdezzük meg ki meri megfogni? A legbátrabb érintésre érezheti, hogy a víz hőmérséklete nem változik jelentősen.
- Ennek a nagyon egyszerű kísérletnek a magyarázata viták tárgyát képezi. A vegyészek a buborékozást nem a forrásnak tulajdonítják, hanem az oldott gázok kiválásának. Tény, hogy a fecskendőt visszaengedve mindig marad egy kis gáz a fecskendőben, de az persze vízgőz is lehet. Érvelésüket még azzal támasztják alá, hogy sokszor elvégezve a kísérletet és a maradó gázt mindig kiengedve egy idő után nem tapasztaljuk a jelenséget (hiszen minden oldott gáz eltávozott). Ennek a tapasztalatnak, fizikai magyarázata az is lehet, hogy a forrás beindulásához szükség van az oldott gázokra, hiszen azok kondenzációs magokként szolgálnak a gőzbuborékok növekedésekor. Amennyiben nincsenek oldott gázok, akkor nehezebb a forrás elindulása. Sokszor elvégezve a kísérletet az oldott gázok mennyisége biztosan csökken, ami egy idő után a forrás beindulását akadályozza. Látható, hogy még a legegyszerűbb kísérleteknél sem lehetünk biztosak a magyarázatban. Véleményünk szerint a nyomás csökkenése biztosan lecsökkenti a forráspontot a szobahőmérséklet alá, így forrásnak be kell indulnia. Az oldott gázok szerepe nem teljesen egyértelmű.

b) Légszivattyúval

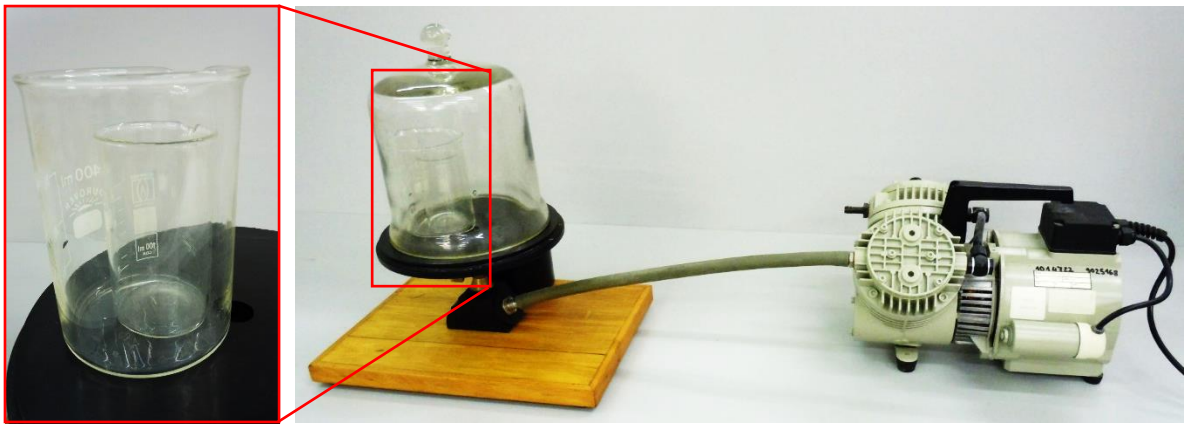
Szükséges anyagok, eszközök

- 150 cm^3-es és 400 cm^3-es főzőpohár
- víz

- légszivattyú

Leírás

Öntsünk kb. 50 cm^3 vizet a kis főzőpohárba, ezt állítsuk bele a nagy főzőpohárba és így helyezzük őket a légszivattyú burája alá. (Erre azért van szükség, hogy ha a víz kifröccsenne, ne jusson a szivattyúba.) Szivattyúzzuk ki a bura alól a levegőt. Figyeljük meg, hogy megfelelően alacsony nyomáson buborékok szállnak fel, és a szobahőmérsékletű víz forrásba jön.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg, hogy a Mount Everest tetején miért nem lehet keménytojást főzni (vagy ha lehet, akkor sokkal több idő alatt)!

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a búra alá a vízbe egy digitális hőmérőt is helyezni, hogy közvetlenül látni lehessen, hogy a hőmérséklet nem változik.
- A jelenségre gyakran a következő magyarázatot hallani: A víz forrásba jön, mert forráspont nyomásfüggő, és kis nyomáson a forráspont alacsonyabb, mint a szobahőmérséklet. Kisiskolás korban teljesen elfogadható, de vegyük észre, hogy ez a tapasztalat és nem a magyarázat! Pontosan azt látjuk, hogy forrásba jön, a hőmérséklete nem változik, tehát a forráspont lecsökkent. Valódi magyarázathoz azt kell megérteni, hogy a folyadék belsejében, akkor tud buborék képződni, ha a telített gőz nyomása meghaladja a külső légnyomást.

c) Kémcsővel

Szükséges anyagok, eszközök

- kémcső
- gumidugó
- kémcsőfogó csipesz
- borszeszégő
- víz

Leírás

A kémcsőbe töltsünk kb. negyedéig csapvizet. Kémcsőfogó csipesz segítségével a borszeszégő lángjánál melegítsük óvatosan egészen lobogó forrásig. Melegítés közben időnként ki-kivéve a lángból, rázogassuk kicsit a kémcsövet. Forraljuk pár másodpercig a vizet, hogy a vízgőz teljesen kitöltse a kémcső légterét. Ezután vegyük ki a lángból a kémcsövet, várjuk meg, míg a forrás abbamarad, majd egyből zárjuk le a gumidugóval a kémcső száját. Fontos, hogy légmentesen, erősen történjen a zárás, ugyanakkor ne roppantsuk össze a kémcsövet. Fordítsuk dugóval lefelé a kémcsövet, és hűtsük a légterét nedves zsebkendővel, fújással. Figyeljük meg, hogy a bezárt vízből buborékok jönnek fel, a víz forrni kezd. A kísérletet lehetőleg óvatosan, mosogató fölött végezzük.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen tényezők és hogyan befolyásolják az olvadáspont és a forráspont értékét?
- Hol találkozhatunk ezzel a jelenséggel, azaz a forráspont nyomással való befolyásolásával? Milyen alkalmazásai vannak? Lépjünk túl a „Himaláján nem fő meg a bab” példán, és keressünk gyakorlatibb, korszerűbb előfordulásokat és alkalmazásokat!

6.12. Jég olvadáspontjának csökkentése

A kísérlet célja

Az olvadáspont-csökkenés jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- 250 cm^3-es főzőpohár
- vegyszereskanál
- keverőbot vagy kanál
- hőmérő
- jég (ennek aprításához kalapács, rongy, deszka)
- nátrium-klorid (konyhasó)

Leírás

A jeget törjük össze kis darabokra, majd töltsük meg vele kb. félig a főzőpoharat! Ellenőrizzük, hogy kialakult-e a jég-víz keverék egyensúlyi, 0 °C-os hőmérséklete. Adjunk a jéghez kis adag (pl. kanálhegynyi) konyhasót és keverjük össze. Mérjük meg a hőmérsékletét.

Ismételjük meg többször a só jéghez keverését és a hőmérséklet mérését. Ügyeljünk rá, hogy lehetőleg mindig egyforma mennyiségű sót juttassunk a keverékbe. Figyeljük meg, hogy a jég egyre nagyobb mértékben megolvad és a jég-víz elegy hőmérséklete 0 °C alá süllyed.

Ha a konyhasót valóban egyforma adagokban kevertük a jéghez, megfigyelhetjük, hogy az olvadáspont-csökkenés arányos a hozzáadott só mennyiségével.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen alkalmazásai vannak a fenti jelenségnek a gyakorlati életben? Milyen korlátai vannak a módszernek?

Módszertani kiegészítések

- A jelenséget kvantitatíven az ún. Raoult-törvény írja le.
- Érdemes felhívni a figyelmet a jelenség ”hasznosságára” az alábbi kísérlet bemutatásával/elvégzésével: Sörhűtés

6.13. Kristályosodási hő mérése

A kísérlet célja

Kalorimetrikus méréssel a túlhűtött sóolvadék kristályosodása során felszabaduló energia értékének meghatározása egységnyi tömegű anyagra vonatkoztatva (fagyáshő).

Szükséges anyagok, eszközök

- ismert tömegű túltelített sóolvadék („nátriumacetát-trihidrát”, kézmelegítő)
- ismert hőkapacitású (vízértékű, 270 J/K) iskolai kaloriméter keverővel, hőmérővel
- stopper
- szobahőmérsékletű állott víz
- mérőhenger
- hőmérő

Leírás

A mérőhenger segítségével töltsünk a kaloriméterbe ismert mennyiségű szobahőmérsékletű vizet. (A víz tömege kb. 3-4-szerese legyen a műanyag tasakban lévő folyadék tömegének.) A szobahőmérsékletű folyadékot tartalmazó tasakot emeljük a kaloriméter fölé, majd a tasakban lévő görbült fémlapocska átpattintásával indítsuk be a kristályosodást. Amint meggyőződtünk a folyamat beindulásáról, rakjuk a tasakot a kaloriméter vizébe, tegyük rá a tetőt, helyezzük be a hőmérőt és indítsuk el az órát. A kristályosodás során az anyagból energia szabadul fel, ami melegíti a kalorimétert és a beletöltött vizet. Óvatos rázogatással, a kaloriméter körkörösen görbült keverőjének le-fel történő mozgatásával segítsük a víz melegedését.

Feladatok

- Percenként olvassuk le a hőmérsékletet. Az idő- és hőmérsékletértékeket jegyezzük fel. A mérést folytassuk, amíg a melegedés tart.
- Készítsük el a kaloriméter melegedését jellemző idő-hőmérséklet grafikont és határozzuk meg a rendszer maximális hőmérsékletét.
- Az anyag tömegét, a víz tömegét és fajhőjét, a kaloriméter hőkapacitását ismerve, a kiindulási és a végső hőmérséklet mért értékeit felhasználva írjuk fel az energiamegmaradást kifejező egyenletet. Az egyenletből számítással határozzuk meg az anyag tömegegységére jutó kristályosodási hőt.

Megjegyzés a számítás elvégzéséhez:

A kaloriméter előre meghatározott hőkapacitása általában az eszköz leírásában van feltüntetve, de méréssel is meghatározható. A víz fajhőjének táblázati értéke: c = 4,18 kJ/kg·K. Az egyszerűség kedvéért ne foglalkozzunk azzal a hőmennyiséggel, amit a sóoldat vesz fel az olvadáspontig történő felmelegedésével, illetve a só ad le, miközben visszahűl a végső hőmérsékletre.

Módszertani kiegészítések

- A diákok kémiaórán tanulnak arról a jelenségről, hogy egy anyag oldódása során hő szabadul fel vagy nyelődik el (endoterm és exoterm oldódás). Érdemes itt ezeket az ismereteiket felidézni és megbeszélni, hogy éppen fordított folyamatról van szó: amelyik anyag oldódása endoterm, annak oldódása exoterm és fordítva.
- Bár a kísérletben használt kézmelegítőben egy túltelített oldat fázisátalakulását figyelhetjük meg, mégis ennél a kísérletnél (analóg jelenségként) szoktunk a túlhűtésről beszélni. Ennek oka, hogy túlhűtött folyadékkal hasonló lenne a jelenség, valamint a túlhűtés magyarázata egyszerűbb és tisztán fizikai fogalmakra lehet alapozni. A túlhűtés jelenségének megnevezése mellett mindenképpen érdemes szemléletes magyarázattal is szolgálni: korábbi ismereteikre alapozva elmondhatjuk, hogy amikor megkezdődik a kristályosodás, a „középen" kialakuló kristálymag határfelületet képez a folyadékkal, tehát létrejöttéhez energiát kell befektetni (a felületi feszültség leküzdésére). Később a kristályosodásból felszabaduló energia ezt fedezni tudja, csak az elején kell átugrani egy energiagátat. Az energiagát átugrását segítheti valami mechanikai behatás, vagy egy kristálymag bejuttatása a folyadékba.
- Túltelített oldat többkomponensű rendszerekben lehetséges, míg túlhűtés egykomponensűek esetén is létrejöhet.
- A túlhűtés jelenségével a hétköznapokban is lehet találkozni. Ha mélyhűtőbe beteszünk vizet, akkor előfordulhat, hogy kivételkor folyékony halmazállapotú, de bontásra/rázásra megfagy.
- A vizet nem csak túlhűteni, de túlforralni is lehet. Mikróban melegített víznél gyakran előfordul, hogy a teafilter behelyezésekor, vagy a kávé beöntésekor heves forrásba jön a víz.

6.14. Víz fajhőjének közelítő meghatározása

A kísérlet célja

Egy anyagi állandó (víz fajhője) értékének közelítő meghatározása egyszerű eszközökkel.

Szükséges anyagok, eszközök

- vízforraló
- elektromos teljesítménymérő eszköz (fogyasztásmérő)
- stopper
- mérőpohár
- hőmérő
- csapvíz

Leírás

Mérjünk ki mérőpohárral pontosan 1 dm^3 csapvizet, és töltsük bele a vízforralóba. Mérjük meg a víz kezdeti hőmérsékletét. A vízforralót az elektromos teljesítménymérőn keresztül csatlakoztassuk a konnektorba. Kapcsoljuk be a vízforralót, és indítsuk el a stoppert. Figyeljük meg, hogy mekkora a vízforraló teljesítménye, melyet a mérőeszközről W egységekben lehet leolvasni. Várjunk, amíg a víz elkezd forrni (ekkor hangos buborékolás hallható), és ebben a pillanatban állítsuk meg a stoppert. (Ne várjuk meg, míg magától kikapcsol!)

A mért adatokból számítsuk ki a víz fajhőjét. A teljesítményben általában enyhe ingadozás látható, ezért érdemes hosszabban figyelni az adatokat és egy középértéket meghatározni.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen feltételezéseket, elhanyagolásokat tartalmaz a módszer a víz fajhőjének meghatározására? Mennyire jogosak ezek a feltételezések és elhanyagolások?
- A felhasznált energiát emelési munkára fordítva milyen magasra lehetne emelni ugyanekkora mennyiségű vizet?

6.15. Kísérlet az adiabatikus tágulással járó lehűlésre és a kondenzációs magvak szerepére a ködképződésnél

A kísérlet célja

Gázok adiabatikus állapotváltozásának bemutatása. A kondenzációs magvak szerepének bemutatása ködképződésnél.

Szükséges anyagok, eszközök

- 5 dm^3 térfogatú üvegedény
- átfúrt gumidugó, benne üvegcső, rajta gumicső
- gyufa
- zseblámpa

Leírás

Az üvegedény aljára öntsünk néhány cm magasságban vizet. Zárjuk le az edényt a gumidugóval. Várjunk pár percet, míg vízgőzzel telítődik az edény légtere. A csövön keresztül fújjunk be levegőt, majd a gumicsövet megtörve zárjuk el. Néhány másodperc múlva hirtelen mozdulattal nyissuk ki a csövet. Figyeljük meg, hogy legfeljebb nagyon kismértékű ködképződést tapasztalunk. Ezután égessünk gyufát az üvegedény szája felett, oltsuk el a gyufát és a keletkező füstöt fújjuk be az üvegedénybe.

Ismételjük meg ezután a fenti lépéseket (befújás; várakozás; hirtelen kinyitás). Figyeljük meg, hogy az előzőnél jóval nagyobb mértékű a ködképződés. Ennek érzékeltetésére világítsuk meg oldalról az edény légterét zseblámpával vagy egy mobil lámpájával. A csövön levegőt befújva a köd hirtelen ismét eltűnik.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a ködképződés oka a két esetben?
- Miért nagyobb mértékű a ködképződés a második esetben? Mi a szerepe a füstnek?

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet egyszerűen egy petpalackkal is elvégezhető, még a kupakját sem kell átfúrni. Ebben az esetben a nyomásnövelést a palack benyomásával érjük el, a hirtelen kitágulást pedig a palack visszaalakulása okozza.

6.16. Kísérletek a hősugárzásra és a hőelnyelésre

A kísérlet célja

A hősugárzás és a hőelnyelés jelenségének bemutatása. A hősugarak visszaverődésének bemutatása.

a) Hősugarak tükrös visszaverődése. Leképezés homorú gömbtükörrel, hősugarak segítségével

Szükséges anyagok, eszközök

- hősugárzó vagy elektromos melegítőlap (villanyrezsó)
- homorútükör
- zseblámpa
- Bunsen-állvány, dió
- hőérzékeny babakanál (vagy más hőérzékeny anyag)

Leírás

Elektromos fűtőlapot állítsunk függőleges helyzetbe és helyezzünk el vele szemben 4-5 m távolságra homorútükröt. Keressük meg a tükör fókuszpontját. A fókuszpontot zseblámpa segítségével könnyen megtalálhatjuk: világítsunk a tükörre és egy papírlapot mozgatva, közel a tükörhöz keressük meg azt a pontot, ahol a fénysugarak közel egy pontban gyűlnek össze.

Ezt követően a hőre színt váltó kanalat helyezzük a tükör fókuszpontjába, majd dugjuk be a főzőlapot. Pár perc elteltével a kanál elszíneződik.

Rajzoljuk meg a hőforrásból kiinduló és a tükörről visszaverődő hősugarak sugármeneteit.

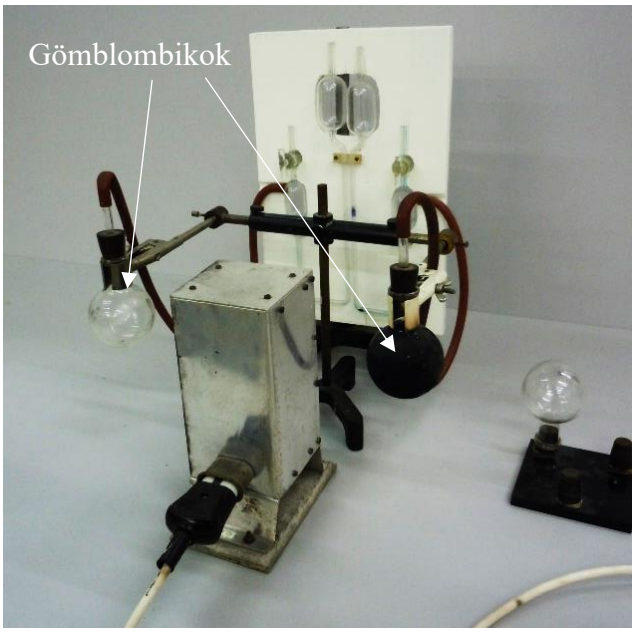
b) A hősugárzás és a hőelnyelés kvalitatív kimutatása kettős termoszkóppal

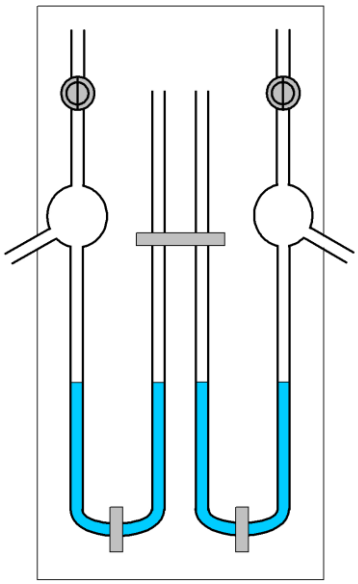
Szükséges anyagok, eszközök

- hasáb alakú fűtőtest (egyik oldala kormozott, többi fényes)
- kettős termoszkóp (egyik gömbje fényes, másik kormozott) + 1 db gömblombik
- alkohol

Leírás

Termoszkóp minden olyan eszköz, amellyel hőmérsékletváltozást tudunk demonstrálni a változás kvantitatív jellemzése nélkül. A kettős termoszkóp két test hőmérsékletváltozásának összehasonlítására szolgál. Az itt ismertetett változat közös állványra szerelt két folyadékmanométerből áll. A manométerek egyik szára nyitott, a másik, gumicsövön keresztül, légmentesen, kisméretű gömblombikhoz (érzékelő) csatlakozik. Az egyik lombik kormozott, a másik tiszta. Szükség lesz még egy harmadik, az előző kettővel azonos méretű, tiszta érzékelőre is.





Kísérlet előtt a manométereket a csapok nyitásával nullázzuk, majd a csapokat elzárjuk. Ekkor mind a négy manométerszárban egyenlő magasan áll a folyadék. Ha az érzékelők hőmérséklete változik, akkor a manométerszárak elmozdulnak.

Feladatok

- Állítsuk a fűtőhasábot a kettős termoszkóp gömbjei közé úgy, hogy mindkét gömb felé a fényes oldala nézzen. Figyeljük meg, hogy a kormozott gömbhöz csatlakoztatott manométerben a nyitott végnél a folyadékszint sokkal hamarabb és sokkal nagyobb mértékben emelkedik, mint a tiszta gömbhöz tartozóban.
- Cseréljük le a kormozott gömböt egy másik átlátszó gömbre. Állítsuk a fűtőhasábot közéjük úgy, hogy az egyik gömb felé fényes, a másik felé a kormozott lapja nézzen. Figyeljük meg a folyadékszintek változását.
- Cseréljük vissza a kormozott gömböt. Forgassuk a fűtőhasábot úgy, hogy előbb a kormozott gömb, majd a fényes gömb felé nézzen a hasáb kormozott fala. Hasonlítsuk össze a tapasztalatokat az előzőkkel.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Ismertessük a földi légkör felmelegedésének folyamatát, kiemelve benne a hősugárzás és hőelnyelés szerepét.
- Soroljunk fel példákat a gyakorlati életből a hősugárzás jelenségének alkalmazására.

6.17. Kísérletek a hővezetés szemléltetésére

A kísérlet célja

A hővezetés jelenségének szemléltetése egyszerű kísérletekkel.

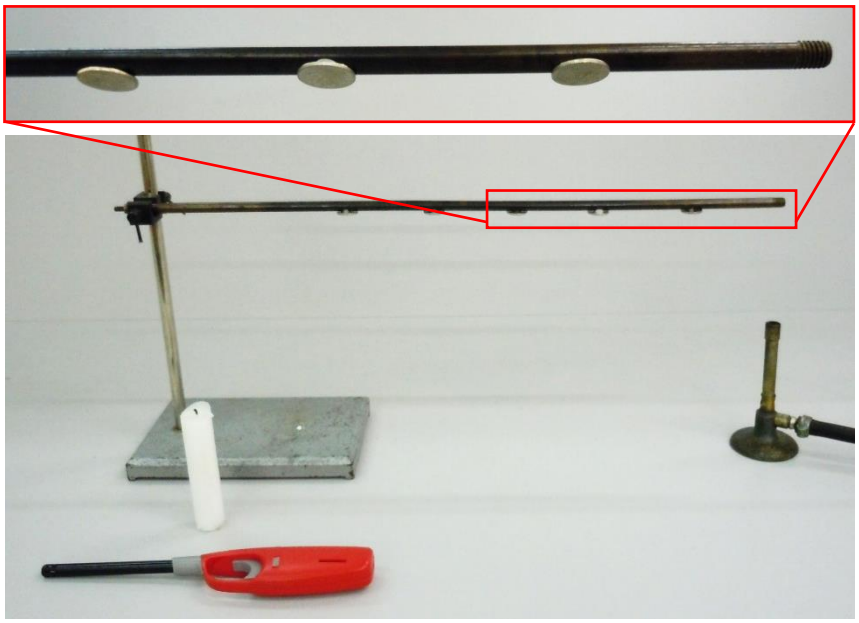
a) A hővezetés jelensége

Szükséges anyagok, eszközök

- Bunsen-állvány, dió
- rézrúd (kb. 0,5 m hosszúságú)
- pénzérmék (5 db)
- gyertya
- Bunsen-égő, gázgyújtó

Leírás

A rézrúd egyik végét rögzítsük a Bunsen-állványhoz. A gyertyát gyújtsuk meg és cseppentsünk egy-egy csepp viaszt a másik kezünkben tartott pénzérmére, majd az érmét egyből (nagyon gyorsan) tapasszuk fel a rézrúd aljára. Helyezzük el így az érméket a rúd szabad végénél kezdve, egymástól kb. 1 cm távolságra. Melegítsük Bunsen-égő lángjával a rézrúd szabad végét. Figyeljük meg, hogy pár percnyi melegítés során a pénzérmék szép sorban leesnek a rúdról.



b) A hővezetés anyagfüggése

Szükséges anyagok, eszközök

- üvegbot
- alumíniumpálca, melynek vastagsága és hossza megegyezik az üvegbotéval
- Bunsen-égő, gázgyújtó

Leírás

Gyújtsuk meg a Bunsen-égőt. Fogjuk egyik kezünkbe az üvegbotot, másikba a fémrudat, és tartsuk mindkettő végét egyszerre a lángba. Figyeljük meg, hogy a fémrúd hamar átmelegszik, az üvegbot vége azonban nem. Ha a fémrúdnál megérezzük, hogy elkezd melegedni, akkor tegyük le az asztalra. Vigyázzunk, hogy véletlenül se érjünk a lángba tartott végéhez!

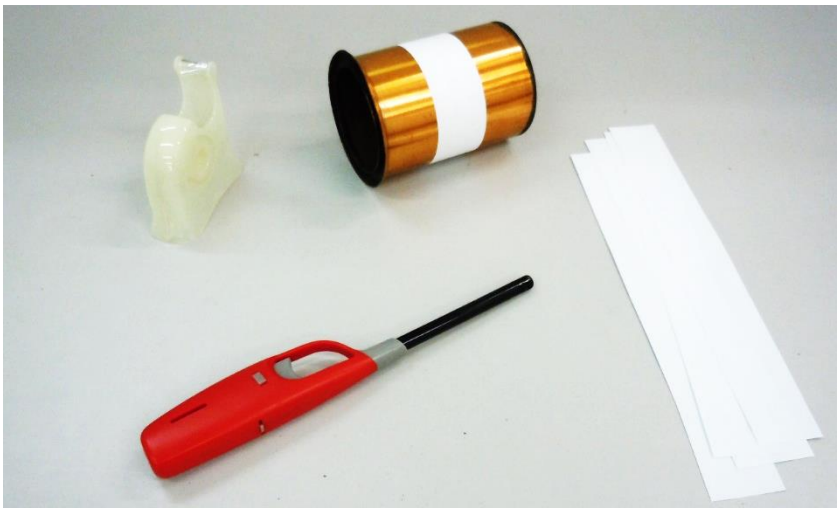
c) Papír meggyújtása rézhengeren

Szükséges anyagok, eszközök

- rézhenger
- papírcsíkok
- ragasztószalag
- gázgyújtó

Leírás

A papírból vágjunk akkora darabot, hogy egy rétegben körbe tudjuk vele tekerni a rézcső egy darabját. Szorosan a csőhöz illesztve rögzítsük a papírt a ragasztószalaggal. Gyújtsuk meg a gázgyújtót és tartsuk a lángba a henger papíros részét. Figyeljük meg, hogy a papír nem vagy csak hosszú idő után gyullad meg.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a hővezetés anyagszerkezeti magyarázata?
- Miért más a különböző anyagok hővezetőképessége?
- Mi a Davy-lámpa? Ismertesse előnyeit és működési elvét!

6.18. Kísérletek a hőáramlás szemléltetésére

A kísérlet célja

A hőáramlás jelenségének szemléltetése egyszerű kísérletekkel.

a) Hőáramlás lombikban

Szükséges anyagok, eszközök

- Bunsen-állvány, dió, lombikfogó
- 1000 cm^3-es gömblombik
- borszeszégő, gázgyújtó
- víz
- kálium-permanganát ($KMnO_4$)

Leírás

Öntsünk egy kb. 1000 cm^3-es gömblombikba vizet és a lombikot lombikfogó segítségével rögzítsük Bunsen-állványba. Várjunk pár percet, míg a víz áramlásai megszűnnek, az esetlegesen jelen lévő gázbuborékok távoznak.

Szórjunk pár nagyobb darab kálium-permanganát kristályt a lombikba úgy, hogy az minél gyorsabban lesüllyedjen az aljára. Melegítsük a lombikot alulról, ahol a kristály van. Figyeljük meg, hogy eleinte csak a kristály környezetében színeződik el a víz, majd áramlás indul és a lombik egész tartalma színessé válik.

b) Hőáramlás kémcsőben

Szükséges anyagok, eszközök

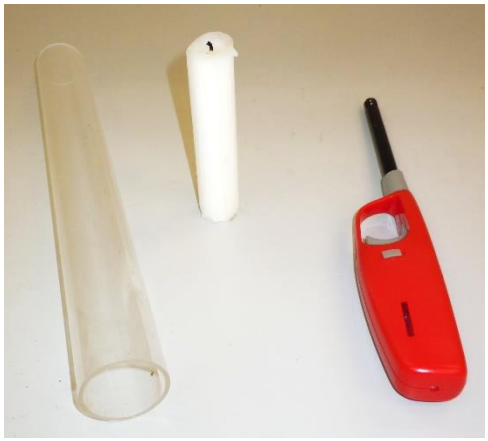
- ledugaszolt kémcső, megtöltve benzinnel, alján alumíniumpor-szemcsék

Leírás

A ledugaszolt kémcsőben benzin található, alján alumíniumpor-szemcsék. A kémcsövet kémcsőfogóval megfogva érintsük tenyerünket a kémcső aljához, ahol az alumíniumpor van. Figyeljük meg, hogy áramlás indul és a szemcsék mozogni kezdenek a kémcsőben.

c) Hőáramlás levegőben

Szükséges anyagok, eszközök



- kb. 4 cm átmérőjű műanyaghenger
- gyertya

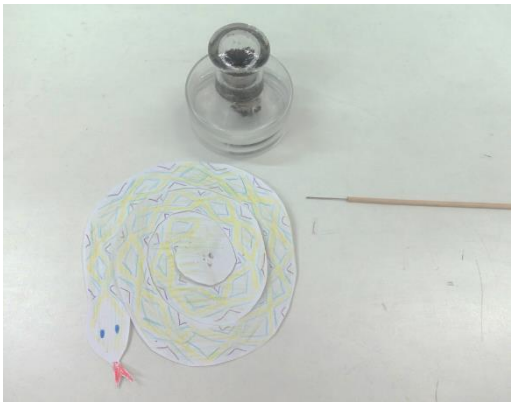
Leírás

Gyújtsuk meg a gyertyát és húzzuk rá a műanyag hengert, alját az asztalra nyomva. Figyeljük meg, hogy a gyertya lángja egy idő után elalszik. Gyújtsuk meg újra a gyertyát, húzzuk rá a hengert, de most úgy, hogy egy-két centiméterrel az asztal felett tartjuk. Figyeljük meg, hogy a gyertya most hosszabb ideig folytatja égését.

> ***Vigyázat!*** A műanyag henger gyertyára húzását mindkét esetben óvatosan végezzük, hogy ne olvasszuk vagy égessük meg a hengert!

d) Papírkígyó

Szükséges anyagok, eszközök



- papír
- olló
- ceruza
- mécses

Leírás

Rajzoljunk legalább 5-6 menetből álló spirálvonalat a papírra. Vágjuk végig a papírt a vonal mentén, így egy feltekeredett papírkígyót kapunk. Közepét kissé meghajtva, óvatosan helyezzük ezt fel a ceruza hegyére úgy, hogy könnyedén tudjon forogni. Gyújtsuk meg a mécsest, tartsuk fölé a ceruzát. Figyeljük meg, hogy a papírkígyó forgásba jön. Látványosabb és biztosabban sikerül a kísérlet, ha nagyobb meleg felület (pl. radiátor) fölé állítjuk a papírkígyót.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért alkalmazunk benzint a b) kísérletben? Miért kell kémcsőfogóval fogni a kémcsövet?
- Miért szükséges az ételek tűzhelyen való melegítésekor a főzeléket, tésztát stb. kevergetni, a levest azonban nem? Miért válik hamar egyenletesen meleggé a mikrohullámú sütőből kivett leves vagy tea, míg a főzelék, rizs, tészta, hús stb. nem?
- Egy családi ház fűtése kapcsán szedjük össze a hővezetéshez és a hőáramláshoz kapcsolódó lehető legtöbb jelenséget!

6.19. A kinetikus gázelmélet szemléltetése

a) A kinetikus gázelméletet szemléltető golyómodell működtetése

A kísérlet célja

A gáz részecskéi, mint rugalmas golyók mozgásának modellezése.

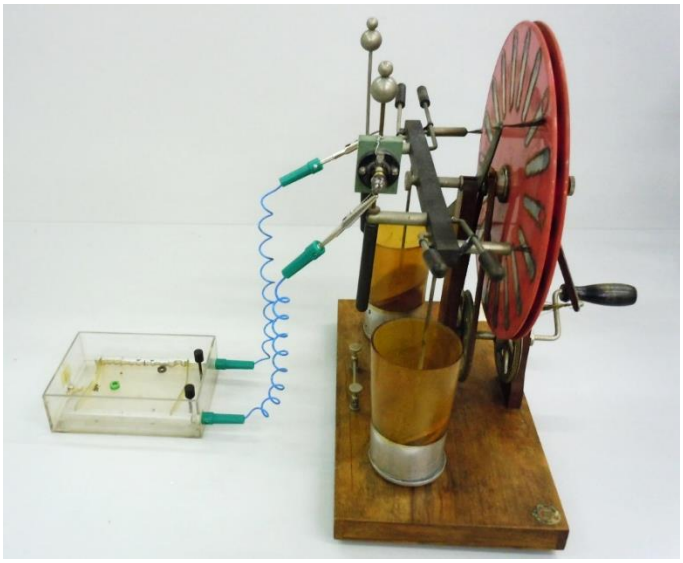
Szükséges anyagok, eszközök

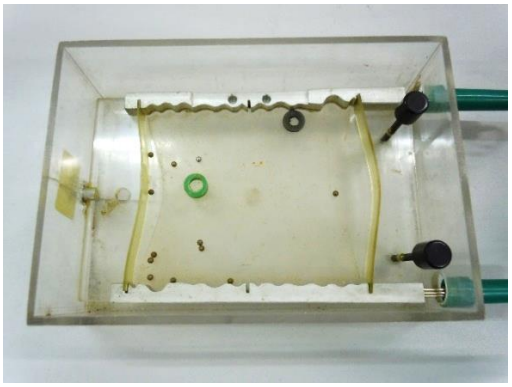
- téglatest alakú műanyag doboz, fedővel, benne 2 db hullámos fémlemez
- megosztógép
- 2 db vezeték
- 15-20 db csapágygolyó
- kisméretű műanyag gyűrűk

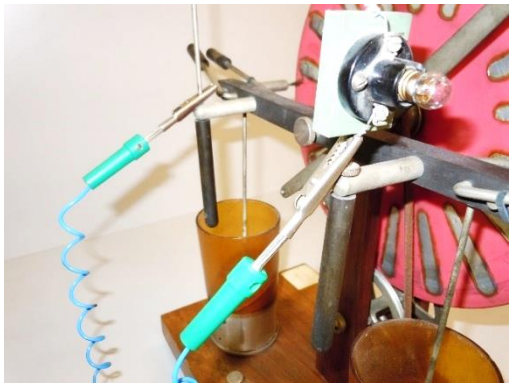
Leírás

A csapágygolyókat szórjuk a műanyag dobozba, a hullámos fémlemezeket helyezzük el egymással szemben lévő oldalakon, majd csatlakoztassuk a fémlemezeket megosztógéphez (vagy Van de Graaf-generátorhoz). Nagy feszültséget előállítva megfigyelhető, ahogy a csapágygolyók szabálytalan mozgásba jönnek, a gázrészecskék hőmozgását modellezve.

Helyezzünk egy kisméretű műanyag gyűrűt a csapágygolyók közé, és figyeljük meg, hogy szabálytalan mozgást végezve bejárja az egész műanyag dobozt, így modellezve a Brown-mozgást.







b) A kinetikus gázelmélet alapján értelmezett nyomás szemléltetése modellkísérlettel

A kísérlet célja

Modellkísérlet a gázrészecskék mozgásának és a gázok nyomásának kapcsolatára.

Szükséges anyagok eszközök:

- levélmérleg
- falap
- ping-pong labda, gumilabda
- sörétgolyók

Leírás

Helyezzük a falapot a levélmérleg tányérjára, majd ejtsünk kb. 20 cm magasságból ping-pong labdát rá. Figyeljük meg, hogy a mérleg mutatója kitér. Magasabbról ejtve a mérleg még jobban kitér. Ha nagyobb tömegű gumilabdát ejtünk 20 cm távolságról, akkor szintén nagyobb kitérést tapasztalunk.

Ezt követően helyezzük a mérleget egy nagy fotótálba. Sörétgolyók folyamatos szórásával tartsuk állandó kitérésen a mérleget. A fotótál a sörétek szétszóródását hivatott megakadályozni. Olyan magasról igyekezzünk szórni a golyókat, hogy a jelenség látszódjon, de a fotótálba pattanjanak a sörétszemek!

Módszertani kiegészítések

- A deszkára azért van szükség, hogy a ping-pong labda ütközése minél rugalmasabb legyen.

6.20. Molekulaméret nagyságrendjének becslése

A kísérlet célja

Molekulaméret nagyságrendjének becslése egyszerű anyagokkal, eszközökkel, módszerekkel.

Szükséges anyagok, eszközök:

- nagyméretű, fekete belsejű fotótál (ennek hiányában üvegtál, alatta fekete papír; esetleg teflontepsi)
- hintőpor
- olajsav, benzinben oldva (0,05 térfogat% koncentrációjú)
- cseppentő
- vonalzó

Leírás

A tálcát töltsük meg vízzel, majd várjuk meg, amíg a folyadék megnyugszik, vagyis nincsenek benne belső áramlások. Ekkor szórjunk a tetejére kevés hintőport, majd cseppentsünk (lehetőleg minél alacsonyabbról) egyetlen csepp benzinben oldott olajsavat a tálca közepére. Az oldatot előbb alaposan rázzuk össze. Figyeljük meg, hogy a hintőpor a tálca falai felé húzódik, középen egy „üres", közel kör alakú folt keletkezik.

Mérjük meg a kör átmérőjét vonalzóval. Ebből az adatból számítással adjunk nagyságrendi becslést az olajsavmolekulák méretére.

Útmutató a számításhoz

A becseppentés hatására a hintőpor elmozdul. A benzin hamar elpárolog, az olajsav pedig egyetlen molekularéteg vastagságban terül el a víz felszínén akkora területen, mint amekkora kör kialakult.

Az egy cseppben levő olajsav térfogata megegyezik a kör területének és a réteg vastagságának (azaz a molekula méretének) szorzatával. A cseppben levő olajsav mennyiségét a csepp térfogatának és az oldat koncentrációjának ismeretében kiszámíthatjuk.

A csepp térfogatának megmérése céljából csepegtessünk 100 csepp tiszta BENZINT mérőhengerbe! (Az oldat olyan kis koncentrációjú, hogy tiszta benzinnel végezve a csepegtetést, nem okoz hibát.) A mérőhengerrel mért térfogat századrésze egyenlő a csepp térfogatával. Ennek 0,05%-a (ld. koncentráció) a tiszta olajsav térfogata. Ezt elosztva a kör területével, a molekulák átmérőjét kapjuk eredményül.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Nagyságrendileg hány db olajsavmolekula található egy csepp oldatban?

6.21. Kísérletek diffúzióra

a) Festékszemcsék Brown-mozgásának megfigyelése

A kísérlet célja

Szuszpenzió szilárd részecskéi Brown mozgásának megfigyelése mikroszkóp segítségével.

Szükséges anyagok, eszközök

- mikroszkóp
- tárgylemez, közepén kivágott szigetelőszalagból „medence”
- vízfesték-oldat
- cseppentő
- asztali lámpa

Leírás

A vízfesték-oldat temperafesték vízben való oldásával készül, így kis szilárd szemcséket tartalmaz vízben szétoszlatva. A diszperziós kolloidok egy jellegzetes típusát, szuszpenziót kapunk. A kísérlethez nagyon híg oldatra van szükségünk. Ennek elkészítéséhez az ecsetet vizezzük be, szedjünk fel vele festéket, majd mossuk bele 10 ml vízbe.

Cseppentsünk ebből az oldatból a tárgylemez kis medencéjébe, így nem fut szét a folyadék. Takarjuk le a cseppet fedőlemezzel és tegyük a tárgylemezt a mikroszkóp tárgyasztalára. A mikroszkóp alsó tükrét világítsuk meg asztali lámpával és a tükröt forgassuk úgy, hogy függőleges irányba verje vissza a fényt, átvilágítva így az oldatunkat.

Vizsgáljuk meg a festékszemcsék mozgását mikroszkóppal. Ehhez 20-szoros okulárt használva előbb 10-szeres, majd 20-szoros objektívvel a durva beállítócsavart használva keressük meg a képet. Ezt követően növeljük az objektív nagyítását 40-szeresre és a finombeállítóval állítsuk élesre a képet. Így összességében 800-szoros nagyítást kapunk.

Figyeljük meg a festékszemcsék mozgását.

b) Egymásra rétegzett folyadékok diffúziója

A kísérlet célja

Diffúzió megfigyelése folyadékokban.

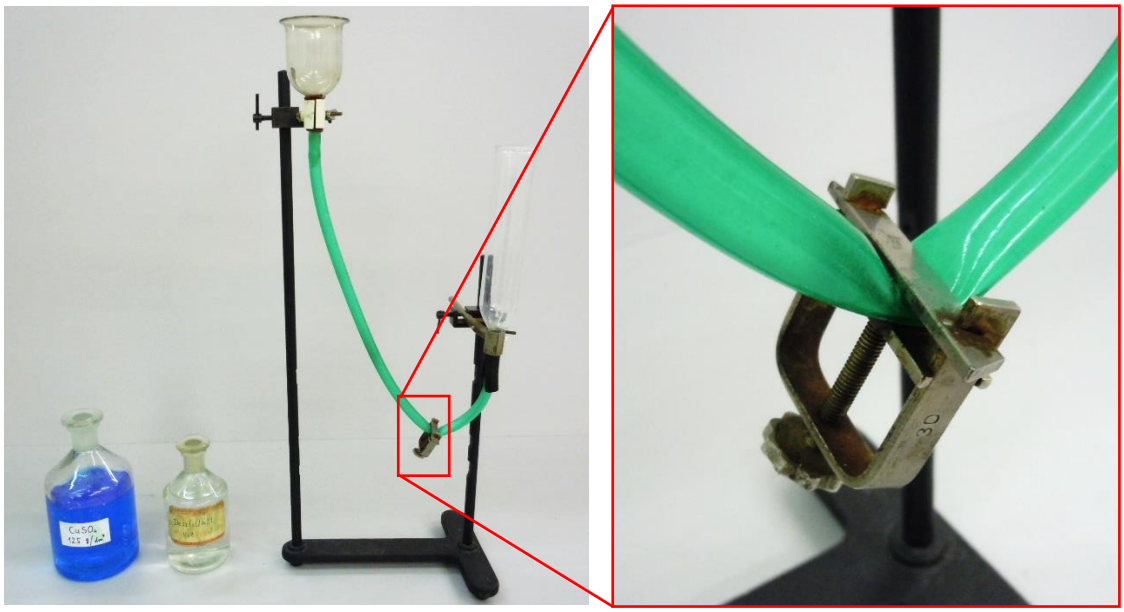
Szükséges anyagok, eszközök

- 2 db üvegedény állványba fogva, aljukhoz csatlakoztatott gumicsővel összekötve
- Hoffmann-szorító
- tömény réz-szulfát-oldat ($CuSO_4$-oldat)
- desztillált víz
- pipetta (20 cm^3-es)
- pipettalabda

Leírás

A Hoffmann-szorítóval zárjuk el a gumicsövet (lásd alul, jobb oldali kép). Töltsük meg az alacsonyabban levő üvegedényt félig desztillált vízzel, majd a magasabban lévőt félig, tömény réz-szulfát-oldattal. Óvatosan nyissuk ki kicsit a Hoffmann-szorítót, és figyeljük meg, hogy a víz alá rétegződik a réz-szulfát-oldat. Ha már néhány cm oldat átfolyt, zárjuk el a szorítót.

Figyeljük meg, hogy a réz-szulfát-oldat és a víz határfelülete kezdetben éles, jó pár percnyi vagy néhány órányi várakozás után elmosódik, a két folyadék keveredik.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan lehetne meggyorsítani a két folyadék diffúzióval való keveredését?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes lehet a kísérletet összeállítva tartani, akár a következő óráig. Addigra biztosan szembetűnő lesz a keveredés.

c) Kálium-permanganát diffúziója vízben

Szükséges anyagok, eszközök

- magas mérőhenger (250 cm^3-es)
- szilárd kálium-permanganát ($KMnO_4$) (a Hőtan II. mérésnél található!)
- vegyszereskanál
- szűrőpapír, 5x5 cm-es darabok
- cérna
- hurkapálca
- víz

Leírás

Töltsük meg a mérőhengert majdnem színültig vízzel, majd várjunk pár percet, míg a víz áramlásai megszűnnek, az esetlegesen jelen lévő gázbuborékok távoznak.

Ezalatt vágjunk kb. 5x5 cm-es négyzetlapot szűrőpapírból és szórjunk a közepére kanálhegynyi szilárd kálium-permanganátot. A papírt összehajtva és összekötözve készítsünk kis „batyut", amit a cérnával kössünk a hurkapálcához. Lógassuk be a csomagot a vízbe, a hurkapálcát keresztbe támasztva a mérőhenger tetején.

Figyeljük meg, hogy a csomagból lila csík indul a henger aljára, majd jó pár percnyi várakozás után az egész mérőhenger tartalma lilává válik.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen halmazállapotú rendszerekben jöhet létre diffúzió?
- Milyen tényezők és hogyan befolyásolják a diffúzió sebességét?
- Soroljunk fel példákat a mindennapi, gyakorlati életből diffúzió megvalósulására, alkalmazására!

6.22. A folyadékfelszín „rugalmas” tulajdonsága

A kísérlet célja

A víz felületének rugalmas, hártyaszerű viselkedésének vizsgálata.

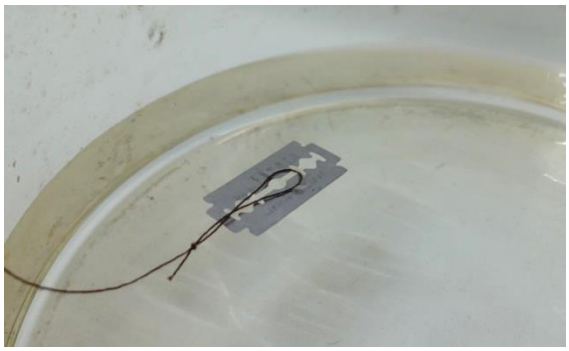
a) Borotvapenge "úszásának" bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- kristályosító tál, kb. 22 cm átmérőjű
- borotvapenge, rákötött cérnával
- csapvíz

Leírás

Töltsünk a kristályosító tálba vizet, majd fektessük a víz felszínére óvatosan a borotvapengét a pengéhez rögzített cérnaszál segítségével. A ráhelyezés előtt érdemes a borotvapengét kissé összetapogatni ujjainkkal (vigyázva, hogy ne vágjuk meg a kezünket), ekkor a penge biztosan nem süllyed le. Figyeljük meg, hogy a penge a víz tetején marad, alatta „behorpad” a víz felszíne.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért tanácsos a pengét kissé „összefogdosni” vagy zsírral, krémmel bekenni a vízfelületre helyezés előtt?
- Mivel magyarázható, hogy a víznél jóval nagyobb sűrűségű penge nem süllyed le? Készítsünk ábrát a jelenség magyarázatához.

Módszertani kiegészítések

- A felületi feszültség definiálása nem egyszerű. Sokszor definícióként a jelenségkör leírása olvasható, miszerint munkát kell végezni, hogy egy részecskét a felszín közelébe juttassunk, a felszínen található részecskék ezért magasabb energiaállapotban vannak, feszített réteg alakul ki, minimális felületre törekszik, munkát kell befektetni új felületelem létrehozásához, bla-bla-bla. Ezek természetesen igazak, de nem a felületi feszültség definíciója. A felületi feszültség a felületi réteget jellemző paraméter (dimenziós szám), mely megadja, hogy egységnyi felület létrehozásához mennyi energia szükséges, avagy megadja a felület síkjában az egységnyi vonal mentén ható erőt.

b) A felület „alulról” tapasztalható rugalmasságának kimutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- 40 literes, fémkeretes üvegkád (akvárium)
- úszó (kémcsőből, gumidugóból, sörétből és rézdrótból)
- dietil-éter

Leírás

1. Az úszó elkészítése: a kémcsőben annyi sörét van, hogy az úszó karikája kb. 2 cm-re kilóg a vízből. (1. kép)

2. Nyomjuk le az úszót a víz alá úgy, hogy a karika kissé a vízfelszín alatt helyezkedjen el, majd engedjük el lassan az úszót. Ha megfelelő volt a beállítás, a „vízhártya” nem engedi az úszót a vízfelszín fölé. (2. kép)

3. Az előbbi helyzetben, amikor az úszót a „hártya” nem engedi a vízfelszín fölé, öntsünk kevés étert az úszó karikájának környékére! (3. kép)

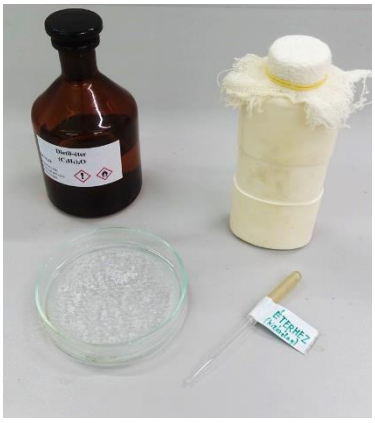
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Értelmezzük, mi történik az éter vízbe öntésekor? Miért nem mosogatószert használunk?

6.23. A felületi feszültség anyagfüggésének demonstrálása

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a felületi feszültség függ az anyagi minőségtől.



a) A vízrétegre cseppentett éter szétterülése

Szükséges anyagok, eszközök

- Petri-csésze, kb. 9 cm átmérőjű
- hintőpor
- csapvíz
- dietil-éter
- szemcseppentő

Leírás

Öntsünk a Petri-csészébe kevés vizet, majd szórjuk meg a víz felszínét hintőporral. Ezután cseppentsünk egy csepp étert a hintőporos felszínre.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Adjunk magyarázatot a hintőpor elmozdulására.

b) Az „éteres hajó”-kísérlet.

Szükséges anyagok, eszközök

- kristályosító tál, kb. 22 cm átmérőjű
- „hajó” (kb. 5 cm hosszú, alumíniumlemezből kivágott hajó, melynek orrával ellentétes oldalán kis kivágás található)
- csapvíz
- dietil-éter
- szemcseppentő

Leírás

Öntsünk a kristályosító tálba vizet, majd helyezzük a víz felületére a hajót. Ezután cseppentsünk étert a hajó végén található félkör alakú kivágásba

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Merre indul el a hajó és miért?

c) Kámfor a víz és az olaj felületén.

Szükséges anyagok, eszközök

- Petri-csésze, kb. 9 cm átmérőjű
- kámfor
- csapvíz
- étolaj

- csipesz

Leírás

Öntsünk a Petri-csészébe vizet, majd tegyünk bele csipesszel kámfort. Figyeljük meg a kámfordarabkákat! (Legalább 4-5 kristálydarabkát tegyünk a vízbe, mert a kámfor oldódásához a darabkának megfelelő kristálytani irányban kell állnia.)

Végezzük el ugyanezt a kísérletet víz helyett étolajjal. (Elég egy vékony rétegnyi olaj is a jelenség megfigyeléséhez.)

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg a jelenséget az alábbiak figyelembevételével:
  - A kámfor a vízben oldódik, az étolajban nem.
  - Az oldódás mértéke a kristályszemcsék különböző oldalain eltérő lehet.

6.24. Kísérletek folyadékhártyákkal

a) A „drótkengyel” kísérlet

A kísérletek célja

A felületi feszültségből származó erők demonstrálása.

Szükséges anyagok, eszközök

- fotótál (36 cm x 30 cm-es)
- szappanoldat (1 liter oldathoz: 100 ml mosogatószer, 200 ml glicerin, 700 ml csapvíz)
- U alakú drótkeret, könnyen mozgó drótkengyellel

Leírás és feladatok

Öntsük ki a fotótálba a szappanoldatot (elég annyit kitölteni, hogy a drótkeretet bele lehessen mártani az oldatba). Ha szükséges, tisztítsuk meg kissé a drótkeretet, hogy a kengyel könnyedén járjon. Ügyeljünk arra, hogy a cérna pontosan a mozgatható oldal közepére legyen kötve, különben a kengyel nem tud szabadon mozogni. Mártsuk a keretet a szappanoldatba, majd a cérna segítségével feszítsük ki a hártyát. Engedjük el a cérnaszálat. Ekkor a hártya behúzza a kengyelt. A művelet többször is megismételhető.

Módszertani kiegészítések

- Bár a folyadékhártyák viselkedésének leírásához magától értetődően adódik a gumilepedő (gumihártya) mint analógia, a folyadékhártya növekedése azonban nem írható le a Hooke-törvénnyel, így a hasonlat félrevezető.

b) A hártya határán fellépő erők demonstrálása (cérnahurokkal)

A kísérletek célja

Annak demonstrálása, hogy a felületi feszültségből származó erők a felületi hártya minden vonaldarabjára hatnak.

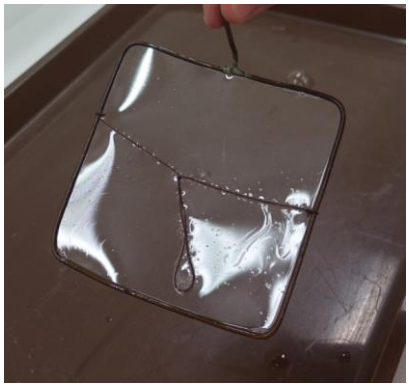
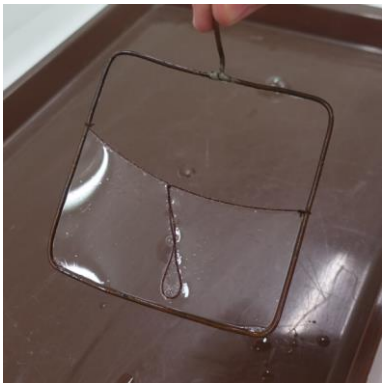
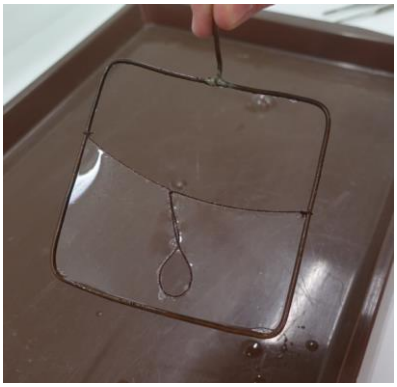
Szükséges anyagok, eszközök

- fotótál (36 cm x 30 cm-es)
- szappanoldat
- drótkeret, amelyre cérna van kötve (a cérnán hurok található)

Leírás

Mártsuk a drótkeretet a rákötözött cérnaszállal az előző feladatban használt szappanoldatba.

1. Lyukasszuk ki először a hártya egyik felét.
2. Újra mártsuk a keretet az oldatba, de most a kis hurokban lévő hártyát lyukasszuk ki (pl. tollal, az ujjunkkal, vagy papír sarkával is próbálkozhatunk)!

c) Térbeli minimálfelületek létrehozása

A kísérlet célja

A folyadékhártya akkor van egyensúlyban, amikor a felülete az adott kényszerfeltételek mellett a legkisebb. Ezt demonstrálhatjuk különféle térbeli drótkeretekkel.

Szükséges anyagok, eszközök

- térbeli drótkeretek
- szappanoldat

Leírás és feladatok

Mártsuk a különböző drótkereteket a szappanoldatba, és figyeljük meg az egy élben találkozó hártyák által bezárt szögeket!

d) Nagyméretű szappanbuborék előállítása.

Szükséges anyagok, eszközök

- nagyméretű drótkarika, melyre fonál van tekerve körbe, vastagon
- szappanoldat
- fotótál (36 cm x 30 cm-es)

Leírás

Öntsük a szappanoldatot a fotótálba, majd mártsuk bele a keretet. Ekkor a keretre hártya feszül ki. A feltekert fonál magába szívja az oldatot. A keretet óvatosan, de nem túl lassan a levegőben mozgatva a hártya „kidudorodik”. A keret forgatásával (finom kézmozdulattal) a buborék a keretről leválasztható.

e) Szappanhártyán kialakuló színek megfigyelése

A kísérlet célja

Vékonyréteg interferencia megfigyelése szappanhártyán.

Szükséges anyagok, eszközök

- teásdoboz (belseje feketére festve)
- szappanoldat

Leírás

Mártsuk a teásdobozt a szappanoldatba, majd figyeljük meg a doboz száján kialakuló hártya színeit. A dobozt oldallapjára állítva hamarosan színes csíkokat láthatunk a szappanhártyán.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Kétsugaras interferencia segítségével magyarázzuk meg a szappanhártyán látható színes csíkok létrejöttét.
- Ha várunk néhány percet, a hártya teteje fekete lesz. Miért?
- Miért célszerű a teásdoboz belsejét feketére festeni?

6.25. Szappanhártyák görbületi nyomásának demonstrálása

A kísérlet célja

A szappanhártyák görbületi nyomásának demonstrálása.

a) Szappanbuborék túlnyomásának demonstrálása

Szükséges anyagok, eszközök

- szívószál
- olló
- szappanoldat
- gyertya Petri-csészében

Leírás és feladatok

Vagdossuk be egy szívószál végét 4 helyen, majd hajtogassuk ki a bevágott részeket. Gyújtsuk meg a gyertyát. Mártsuk a bevágott véget szappanoldatba, majd fújjunk buborékot. A szívószál „üres” végét tegyük a gyertya lángjához közel és figyeljük meg, mi történik a gyertyalánggal.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg a jelenséget.
- Miért kellett a szívószál végét bevagdosni?
- Miből ered a görbületi nyomás?

b) A görbületi nyomás és a görbületi sugár kapcsolatának érzékeltetése

Szükséges anyagok, eszközök

- „U” alakú üvegcső, középen befúvónyílással
- Petri-csésze, kb. 9 cm átmérőjű
- szappanoldat

Leírás

Töltsünk a Petri-csészébe kevés szappanoldatot, majd mártsuk az U alakú üvegcső mindkét szárát az oldatba és a befúvónyíláson keresztül óvatosan fújjunk buborékot. Ha kb. 5 cm átmérőjű mindkét buborék, fogjuk be a befúvónyílást, és figyeljük meg, hogyan változnak a buborékok méretei. (A buborékok könnyen elpattannak, többször kell próbálkozni.)

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mitől függ a görbületi nyomás?

6.26. Szilárd fal közelében kialakuló folyadékfelület megfigyelése

a) A kapillaritás jelensége

Szükséges anyagok, eszközök

- „U” alakú közlekedőedény, melynek egyik ága belül nagyon vékony (kapilláris cső)
- desztillált víz

Leírás és feladatok

Öntsünk desztillált vizet az U alakú közlekedőedénybe, és figyeljük meg a szárakban a folyadékszint magasságát.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mit nevezünk közlekedőedénynek?
- Hogyan magyarázzuk a kapilláris emelkedést a görbületi nyomás segítségével?

Módszertani kiegészítések

- A közlekedőedénybe csak desztillált víz önthető, különben a beszáradó szennyeződések megváltoztathatják a felületi feszültséget, és eltömíthetik a kapillárist.

b) Vízfelület üvegfal közelében

A kísérlet célja

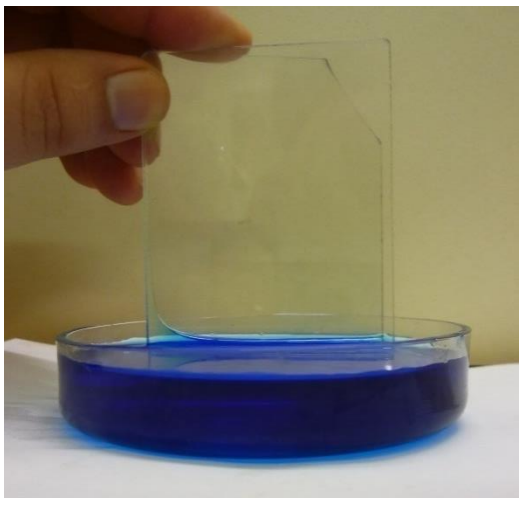
Ék alakban álló lemezek között a folyadékfelszín alakjának megfigyelése.

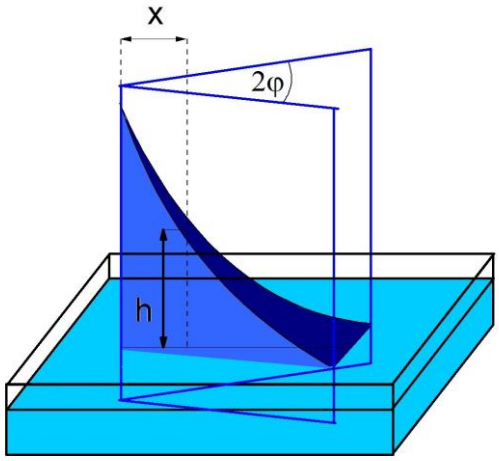
Szükséges anyagok, eszközök

- Két darab 6,5 cm x 9 cm-es üveglap
- 14 cm átmérőjű Petri-csésze
- víz (A vizet a jobb láthatóság kedvéért megfesthetjük metilénkékkel.)

Leírás és feladatok

Töltsünk a Petri-csészébe vizet. A két üveglapot tegyük a vízbe az ábrának megfelelően úgy, hogy az egyik felén az üveglapok érintkezzenek, a másik végén pedig csak 1-2 mm-es rés legyen közöttük.





c) Sóoldat beszáradása

Szükséges anyagok, eszközök

- tárgylemezek papírdobozban
- telített sóoldat üvegben (használat előtt rázzuk össze)
- szemcseppentő

Leírás

Szemcseppentővel cseppentsünk egy csepp sóoldatot egy előzőleg megtisztított tárgylemezre. Figyeljük meg, hogyan válik ki a só az oldat beszáradásakor.

d) Viaszgolyó úszása

Szükséges anyagok, eszközök

- műanyag doboz ólomsöréttel
- doboz viaszgolyókkal
- 50 ml-es főzőpohár
- kristályosító tál, kb. 22 cm átmérőjű

Leírás és feladatok

Töltsük meg félig a kristályosító tálat vízzel, majd tegyünk bele egy 2-3 cm átmérőjű méhviaszgolyót. A viaszgolyó átlagsűrűségét növeljük meg sörétgolyók belenyomkodásával úgy, hogy a golyó átlagsűrűsége csak kicsivel legyen nagyobb, mint a víz sűrűsége. (A viaszgolyó sűrűségét fokozatosan, egyre több sörétgolyó belenyomásával változtassuk. A golyó átlagsűrűsége akkor megfelelő, ha a golyó a víz alá nyomva lesüllyed, de egy sörétet kivéve már úszik.) Figyeljünk arra, hogy ne tapadjanak a viaszgolyóra levegőbuborékok.

1. Tegyük az így beállított viaszgolyót óvatosan a vízre. A golyó nem süllyed le, bár sűrűsége nagyobb, mint a vízé. Figyeljük meg a vízfelületet a golyó körül.

2. Nyomjuk az előző viaszgolyót a víz alá. Ekkor a golyó lesüllyed. Borítsuk a golyó fölé az 50 ml-es főzőpoharat (1. kép), majd húzzuk a főzőpoharat lassan felfelé! A golyó felemelkedik a víz tetejére.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért nem süllyed le a víznél nagyobb sűrűségű golyó? Magyarázzuk a jelenséget a felületi feszültség jelenségével.
- Miért emelkedik fel a golyó a víz felszínére, ha főzőpoharat teszünk rá és azzal kiemeljük?

6.27. Mosószer-oldat felületi feszültségének mérése csepegtetéses módszerrel.

A kísérlet célja

Mosószer-oldat vízhez viszonyított relatív felületi feszültségének meghatározása csepegtetéses módszerrel.

Szükséges anyagok, eszközök

- szemcseppentő
- különböző koncentrációjú mosogatószer-oldatok (50 ml vízben 1, 2 vagy 3 csepp mosogatószer)

Leírás és feladatok

Szemcseppentőbe szívjunk fel először vizet, majd jelöljük be a víz állását (filccel vagy szigetelőszalag-csíkkal). Ezzel bejelöltük a víz térfogatát. Érdemes minél több vizet felszívni a pontosabb mérés érdekében. Lassan csepegtetve mérjük meg, hány cseppből áll a bejelölt térfogat. Ezután szívjuk fel az egyik oldatot a jelig, és nézzük meg, hány oldatcseppből áll az előzővel megegyező nagyságú térfogat. Végezzük el a cseppszámlálást valamennyi oldatra, ügyelve arra, hogy mindig az eredetileg bejelölt térfogatban lévő cseppek számát számoljuk meg. Érdemes folyadékváltásnál a szemcseppentőt a mérendő folyadékkal átmosni. Az átmosásra használt folyadékot nyugodtan töltsük vissza a mérendő oldat üvegébe.

Számolja ki a különböző mosószeroldatok vízre vonatkoztatott felületi feszültségét!

Segítség a számításhoz

A csepegtetéses módszer azon alapul, hogy r belső sugarú kapillárisból való csepegtetés során a csepp addig növekszik, amíg a cseppre ható nehézségi erő nagyobb nem lesz, mint a kapilláris belső peremén (melynek hossza $2r\pi$) a felületi feszültségből származó erő. Azaz a leszakadás pillanatában $mg = 2r\pi\alpha$ –nak kell teljesülnie. Ezzel azonban csak α közelítő értékét kaphatjuk meg, mivel a csepp leszakadás előtt befűződik, és így a felületi feszültségből származó erő rövidebb hossz ($2r^*\pi$) mentén fog hatni. Így, ha a szemcseppentőben kijelölt V térfogatban $N_{víz}$ darab vízcsepp van, akkor a csepp leszakadásának pillanatában

$$\rho_{víz}\frac{V}{N_{víz}}g = 2r^*\pi\alpha_{víz}$$

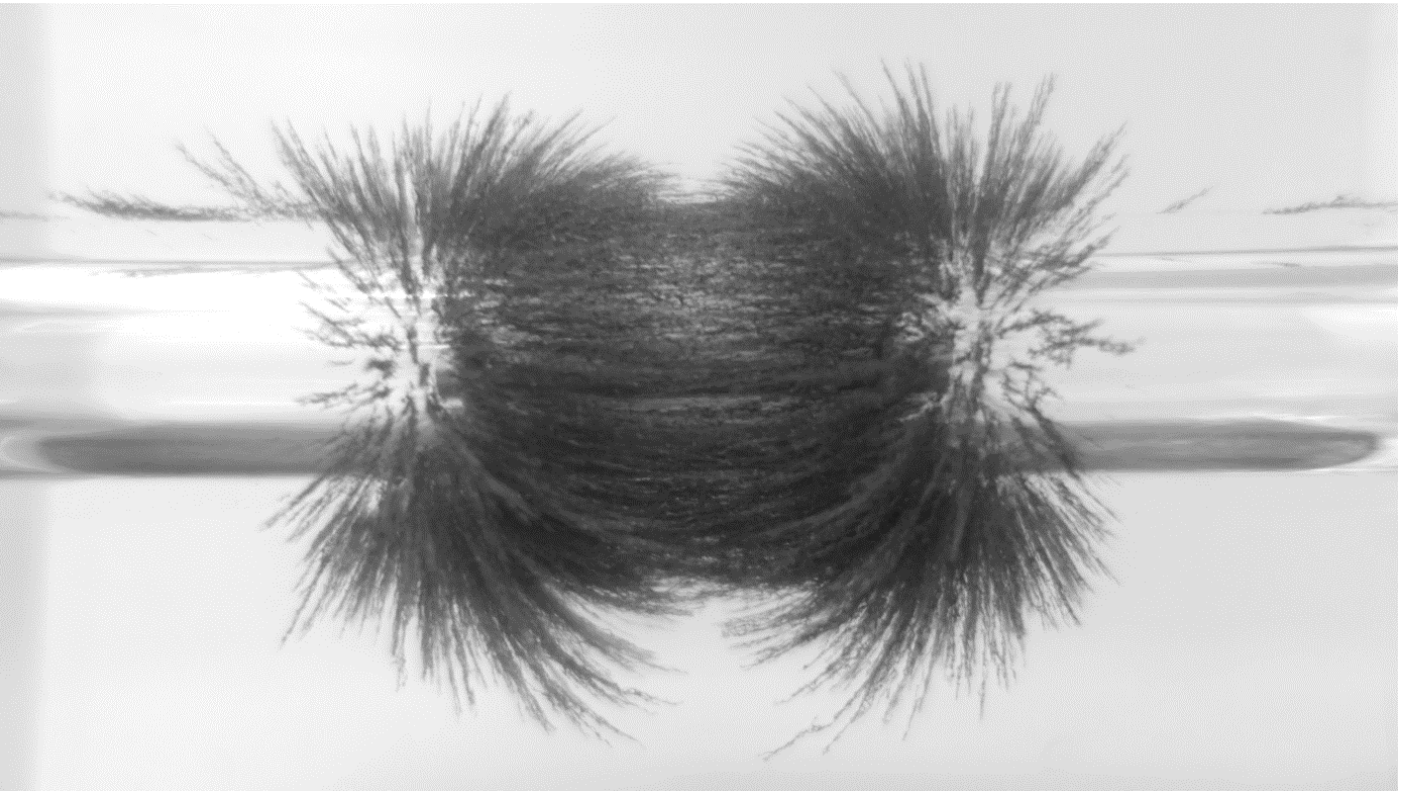
teljesül, ahol $\rho_{víz}$ a víz sűrűsége. Hasonlóan az oldatra is felírható ez az összefüggés:

$$\rho_{oldat}\frac{V}{N_{oldat}}g = 2r^*\pi\alpha_{oldat}\,.$$

Mivel az oldat és a víz sűrűsége jelen esetben közel azonos, ezért − feltételezve, hogy a befűződés mértéke is ugyanakkora − a két egyenletből a felületi feszültségek arányára a következőt kapjuk:

$$\frac{N_{oldat}}{N_{víz}} = \frac{\alpha_{víz}}{\alpha_{oldat}}\,.$$

Ebből már adódik a mosószeroldatok vízre vonatkoztatott felületi feszültsége.



7. Elektromosságtan

7.1. Anyagok elektromos állapotba hozása dörzsöléssel

A kísérlet célja

A dörzselektromos jelenség bemutatása különböző anyagokkal.

Szükséges anyagok, eszközök

- Papírdarabkák
- Üvegrúd
- Bőr-darab

Leírás

Szórjunk ki papírdarabokat az asztalra, majd dörzsöljük meg néhányszor az üvegpálcát a bőrdarabbal. Az üvegpálcát a papírdarabokhoz közelítve azt tapasztaljuk, hogy a papírdarabok a pálcára ugranak, majd kis idő elteltével onnan leugranak.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért vonzza az elektromos állapotba került üvegrúd a papírdarabkákat?
- Miért ugranak le az üvegrúdról az odavonzott papírdarabkák egy idő után?
- Milyen töltésű lesz a bőrrel megdörzsölt üvegrúd (definíció szerint)?
- Milyen más anyagokat lehet jól használni a papírdarabkák helyett?
- Milyen más anyagok használhatók az üvegrúd helyett?

Módszertani kiegészítések

- Az üvegpálcát időnként nehéz feltölteni, ilyenkor érdemes a pálca felületét pl. alkohollal letisztítani.
- Minden elektrosztatikai kísérlet érzékeny a „légköri viszonyokra”, pl. a levegő páratartalmára. Ezeket a kísérleteket érdemes száraz levegőben bemutatni (fűtési szezonban, tanóra elején, szellőztetés után). Mindig legyünk készen arra, hogy a kísérlet nem a várt eredménnyel zárul, ezért sose mondjuk el előre a diákoknak, hogy mi fog történni (egyébként se lőjük le a poént), és legyünk készen a nem várt eredmény megmagyarázására.

Módszertani kiegészítések

- A dörzselektromosságnak és az elektrosztatikának önmagában kevés gyakorlati vonatkozása, alkalmazása van. Gyűjtsünk össze a diákokkal mégis minél több ilyet!
- A dörzselektromosság szemléltetéséhez érdemes bemutatni az alábbi videó részleteit: Robbantás dörzselektromossággal

7.2. Töltött testek között működő erőhatás kimutatása

A kísérlet célja

A kétféle elektromos töltés kimutatása vonzó és taszító kölcsönhatás alapján.

Szükséges anyagok, eszközök

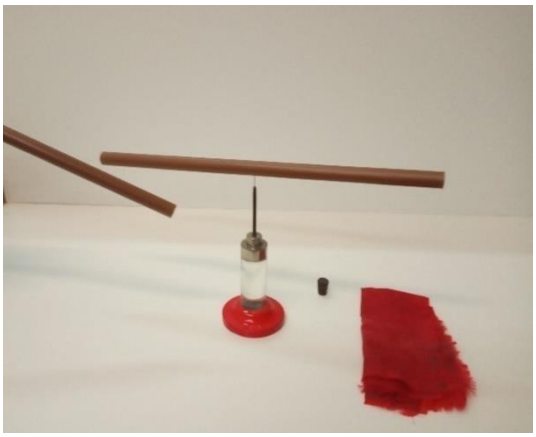
- Tűállvány (védő gumidugóval)
- 2 db ebonitrúd (vagy 2 db PVC cső, kb. 1 cm átmérőjű), az egyiknek felénél kis furattal, hogy fel lehessen tenni a tűállványra
- Műszálas anyag (mikroszálas törlőkendő)
- Üvegrúd
- Bőrdarab

Leírás

Először dörzsöljük meg a furattal rendelkező ebonitrudat (vagy műanyag csövet) a műszálas anyaggal, majd helyezzük a tűállványra. A másik ebonitrudat (vagy műanyag csövet) is dörzsöljük meg ugyanezzel a műszálas anyaggal, majd a feltöltött ebonitrudat közelítsük a tűcsapágyra helyezett, szintén feltöltött ebonitrúd megdörzsölt végéhez. Figyeltessük meg, hogy a két rúd taszítja egymást.

Ezt követően közelítsük a műszálas anyagot a tűcsapágyra rögzített rúdhoz. Vonzást tapasztalunk.

Dörzsöljük meg újra a csapágyra helyezhető ebonitrudat a műszálas anyaggal, és helyezzük ismét a csapágyra. Dörzsöljük meg az üvegrudat is az anyagdarabbal, majd közelítsük a tűre helyezett (feltöltött) ebonitrúdhoz. A két rúd vonzza egymást.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsünk ábrát az első és a második kísérletről, amiken jelöljük a testek töltéseit is!

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet sikerességét erősen befolyásolja a levegő páratartalma. Ha magas a levegő páratartalma, akkor azt tapasztaljuk, hogy a két ebonitrúd vonzza egymást. A jelenség azzal magyarázható, hogy a tűállványra helyezett ebonitrúd a levegő magas páratartalma miatt hamar elveszíti elektromos tulajdonságát, így a feltöltött ebonit rudat a már semleges rúdhoz közelítjük, amely polarizálódik. Emiatt a két ebonitrúd vonzani fogja egymást.

- Az ebonitrúd dörzsölését érdemes legalább négyrétbe hajtott műszálas anyaggal végezni, ekkor ugyanis a rúd kevésbé sül ki a kezünkön keresztül.
- Ha az ebonitrudat nem sikerül megfelelően feltölteni, tisztítsuk meg pl. alkohollal, illetve ellenőrizzük a levegő páratartalmát.
- PVC-rudakkal nagyobb eséllyel sikerül bemutatni a kísérletet.
- Fűtési szezonban, amikor szárazabb a levegő, jobban sikerülnek az elektrosztatikai kísérletek. Érdemes a szünetben kiszellőztetni és az óra elején bemutatni a kísérleteket, vagy óra közben, a kísérletek bemutatása előtt kiszellőztetni a termet.
- A töltések közötti erőhatás mértékét megadó Coulomb-törvény kimérésére is van tanszerkereskedelemben kapható céleszköz. Azonban nagyon gondos beállítást igényel és még a leggondosabb beállítás mellett sem biztos az eredmény.

7.3. Ellentétes töltések összegzése, az előjeles jelölésmód indoklása

A kísérlet célja

A negatív és pozitív töltés elnevezés alátámasztása.

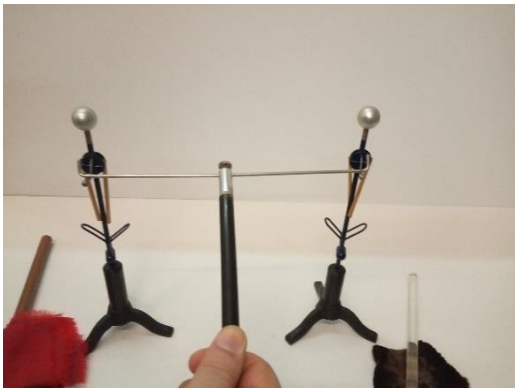
Szükséges anyagok, eszközök

- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag
- Üvegrúd
- Bőrdarab
- 2 db szalmaszálas elektroszkóp
- Szigetelő nyéllel ellátott fémrúd

Leírás

Az egyik elektroszkópot töltsük fel üvegrúddal, a másikat ebonitrúddal úgy, hogy a szalmaszálak körülbelül egyformán álljanak. (Azaz a bőrrel dörzsölt üvegrudat húzzuk végig az egyik elektroszkóp kampóján (vagy fémgömbjén), míg a műszálas anyaggal dörzsölt ebonitrudat a másik elektroszkóp kampóján (vagy fémgömbjén). Ha szükséges, ismételjük ezt a műveletet addig, amíg a két elektroszkóp szalmaszála körülbelül ugyanakkora szöget zár be (ld. ábra.) Érintsük ezután a két elektroszkóphoz a szigetelő nyéllel ellátott fémrudat. Az elektroszkóp elveszti töltését. Ezt tekinthetjük úgy, hogy a két elektromos állapot összege nullát (semlegességet) eredményez.

Töltsük fel mindkét elektroszkópot azonos töltéssel és ismét kössük össze őket a fémrúddal. Ilyenkor a szalmaszálak kitérése csupán kicsit változik.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan magyarázható a szalmaszálas elektroszkóp működése?

7.4. Elektroszkóp feltöltése megosztással

a) Elektroszkóp feltöltése megosztással (töltött test segítségével)

A kísérlet célja

Az elektromos megosztás jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag
- Elektroszkóp

Leírás

1. A megdörzsölt ebonitrudat közelítsük az elektroszkóp gömbjéhez (pl. elölről) és tartsuk kb. 5-10 cm-re a gömbtől. (Ne vigyük közelebb az ebonitrudat, különben töltések ugorhatnak át róla az elektroszkópra!) Figyeltessük meg, hogy az elektroszkóp mutatója elfordult, noha nem vittünk rá töltéseket!

2. Távolítsuk el az ebonit rudat. Ilyenkor az elektroszkóp mutatója ismét semlegességet mutat.

3. Közelítsük ismét az ebonit rudat 5-10 cm-re. Ekkor az elektroszkóp mutatója kitér. Az ebonit rúddal ellentétes oldalon érintsük meg az elektroszkóp gömbjét az egyik ujjunkkal, miközben a feltöltött ebonitrudat továbbra is 5-10 cm-re tartjuk az elektroszkóp gömbjétől. Figyeljük meg, hogy az elektroszkóp mutatója visszament nullhelyzetbe.

4. Vegyük el az ujjunkat az elektroszkóp gömbjétől, miközben az ebonitrudat továbbra is ott tartjuk. Végül távolítsuk el az ebonitrudat. Figyeljük meg, hogy az elektroszkóp töltést jelez.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg az elektroszkóp mutatójának viselkedését mind a 4 esetben! Készítsünk mindegyikhez magyarázó ábrát!

b) Elektroszkóp feltöltése megosztással (két elektroszkóp és töltött test segítségével)

A kísérlet célja

Az elektromos megosztás jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

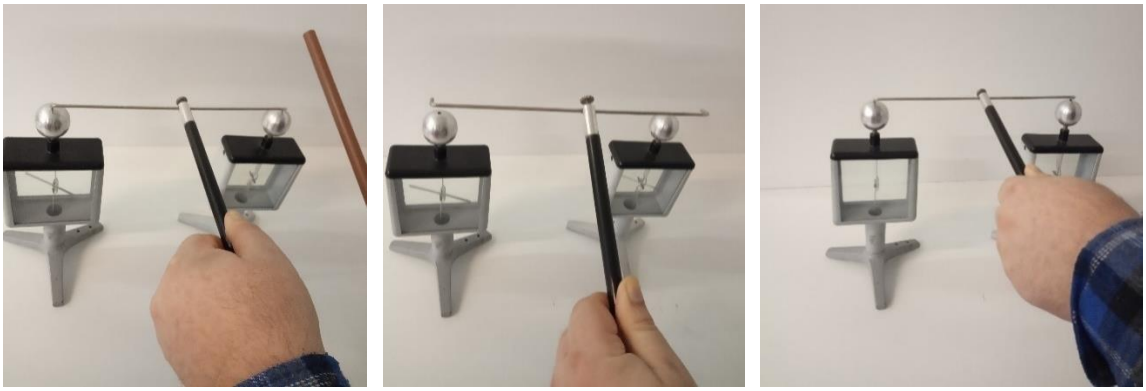
- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag
- 2 db elektroszkóp
- Szigetelő nyéllel ellátott fémrúd

Leírás

Állítsuk a két elektroszkópot egymás mellé. Kössük össze az elektroszkópok gömbjeit a szigetelő nyéllel ellátott fémrúddal. A jobb oldali elektroszkóphoz közelítsük a megdörzsölt

ebonitrudat. Ekkor mindkét elektroszkóp töltést mutat. Ha eltávolítjuk a töltött ebonitrudat, akkor az elektroszkópok nem mutatnak töltést.

1) Közelítsük újra a töltött ebonitrudat a jobb oldali elektroszkóp felé (bal oldali kép).
2) Vegyük el először az összekötő fémrudat.
3) Ezután távolítsuk el a töltött ebonitrudat is (középső ábra). Az elektroszkópok továbbra is töltést jeleznek.
4) Kössük végül össze az elektroszkópok fémgömbjeit! Az elektroszkópok lemezei összecsukódnak (jobb oldali ábra).



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Melyik elektroszkópon milyen töltés volt?
- Mit bizonyítunk a kísérlet végén azzal, hogy a fémrúddal összekötjük az elektroszkópok fémgömbjeit?

7.5. Az elektrofór működésének bemutatása

A kísérlet célja

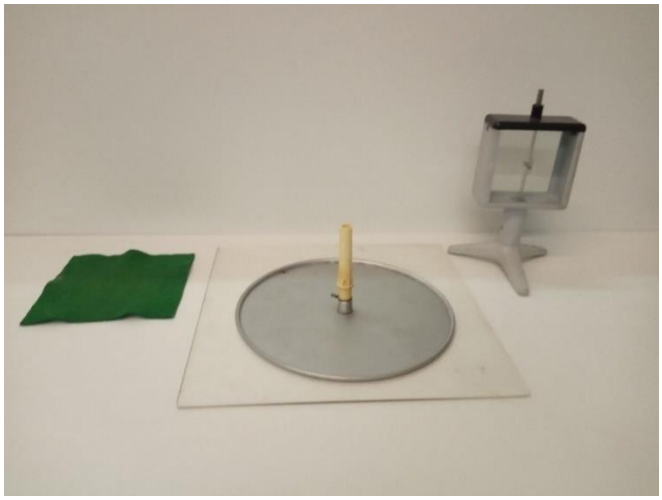
A megosztás jelenségének demonstrálása elektrofórral. Diszkrét töltésmennyiségek előállítása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Négyzet alakú plexilap
- Szigetelő nyelű fémtárcsa
- Filcanyag
- Elektroszkóp

Leírás

Az elektrofór eszköz egy plexi lapból és egy szigetelő nyéllel ellátott fém tányérból áll. Filcanyaggal dörzsöljük meg a plexilapot, majd enyhén nyomjuk rá a fémtárcsát. Érintsük meg a tárcsa tetejét, majd a szigetelő nyél segítségével emeljük le a plexilapról. (Leemeléskor már csak a szigetelőnyélnél foghatjuk a tárcsát!) A fémtárcsát érintsük elektroszkóphoz, hogy kimutassuk a rajta lévő töltést. Utána ismételjük az eljárást. Figyeljük meg, hogy az elektroszkóp mutatója mindig azonos mértékig lendül ki.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A plexilap töltéséhez képest milyen töltésű lesz a fémtárcsán kimutatható töltés?

Módszertani kiegészítések

- Ha nagyon feltöltjük a plexi lemezt, akár szikra is pattanhat az ujjunkra.
- A hatás még fokozható, ha a plexit egy földelt fémlemezre helyezzük. Az elektrofór gyakorlati (és történelmi) jelentőségét az adja, hogy elég pontosan azonos töltéscsomagokat tudunk a koronggal az eszközzel előállítani, ami fontos lehet egyes kísérletekben (például a Coulomb-törvény kimérésében).

7.6. Vezetőre vitt töltés elhelyezkedésének vizsgálata

a) Vezetőre vitt töltés elhelyezkedésének vizsgálata Kolbe-féle testtel

A kísérlet célja

A vezetőre felvitt töltés nem egyenletes eloszlásának bemutatása.

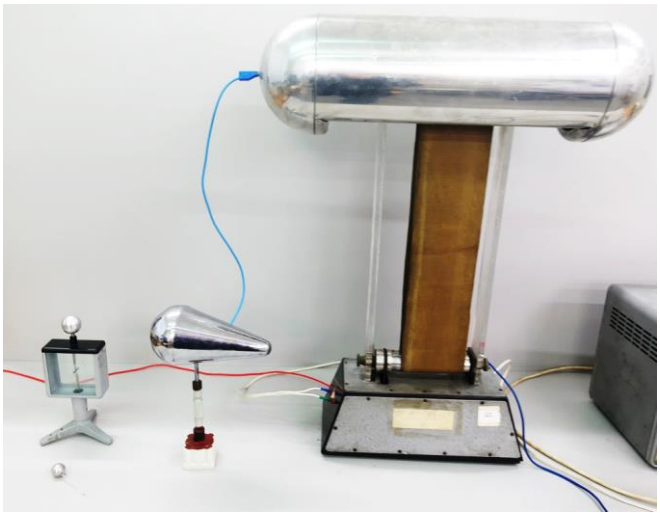
Szükséges anyagok, eszközök

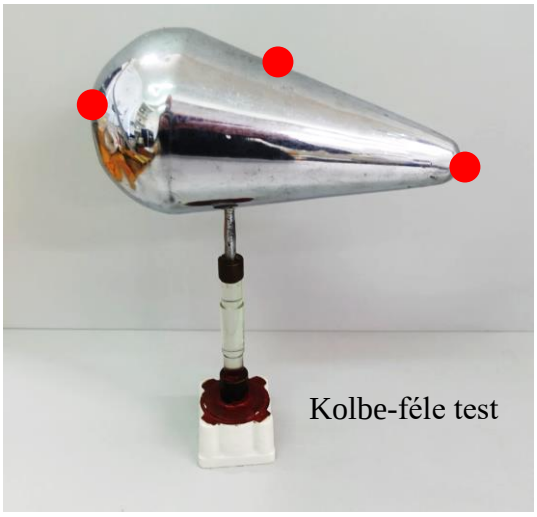
- Kolbe-féle test
- Szigetelő nyélre erősített fémgömb
- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag
- 2 db elektroszkóp (a képen szögletes házban)

Leírás

A Kolbe-féle test egy szigetelő lábakon álló fémtest, melynek két széle két különböző görbületi sugarú gömb.

Töltsük fel a Kolbe-féle testet (pl. dörzsölt ebonitrúd segítségével, vagy a Van de Graaff generátor szalagját kétszer lefelé meghúzva és a Kolbe-testet a készülék szivarjához érintve). Érintsük a Kolbe-féle testhez a szigetelő nyéllel ellátott fémgömböt, a különböző görbületű (képen pirossal jelölt) felületein. Ekkor a fémgömb az érintés helyén található felületi töltéssűrűséggel arányos töltést kap. A fémgömböt ezután elektroszkóphoz érintve összehasonlíthatjuk a Kolbe-test különböző görbülettel rendelkező felületén elhelyezkedő töltések mennyiségét. (Minél inkább szétágaznak az elektroszkóp lemezei, annál nagyobb volt a Kolbe-test adott helyén a töltéssűrűség.)





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hasonlítsuk össze a Kolbe-féle test különféle görbületű részeinek töltéssűrűségét! Hol a legnagyobb a töltéssűrűség? Készítsünk ábrát a töltések elhelyezkedéséről!

b) Vezetőre vitt töltés elhelyezkedésének vizsgálata sűrű szövésű dróthálóval

A kísérlet célja

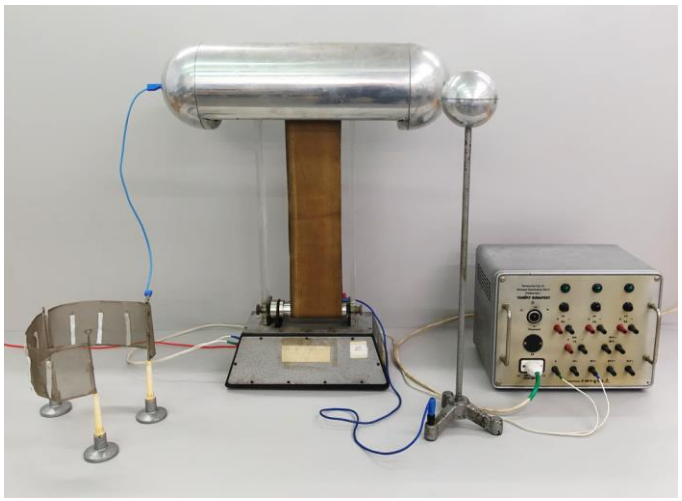
Töltéseloszlás bemutatása elektromosan töltött vezető felületén.

Szükséges anyagok, eszközök

- Sűrű szövésű drótháló három szigetelőlábon, két oldalán papírcsíkokkal
- Van de Graaff generátor földelő/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Röpzsinór krokodilcsipesszel

Leírás

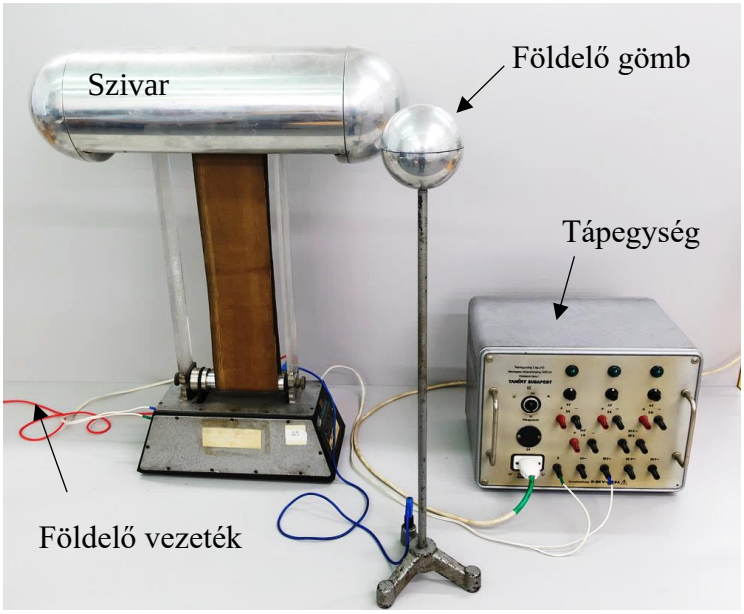
A bal oldali ábrán látható módon kössük össze egy rövid vezeték segítségével a Van de Graaff generátor szivarját és a szigetelőlábakon lévő dróthálót úgy, hogy a vezeték a levegőben fusson.



Indítsuk el a Van de Graaff generátort. Hasonlítsuk össze a dróthálóra rögzített selyempapírok állását a drótháló különböző alakja mellett! A szigetelőtalpaknál fogva hajlítsuk a dróthálót kör alakúra, majd egyenesre. Figyeljük meg a kör alak esetén a belső papírcsíkok állását.

Módszertani kiegészítések

- A Van de Graaff generátor használata gyakori elektrosztatika kísérletekben, ezért leírjuk, hogy a használatánál mire kell odafigyelni.



Van de Graaff generátor összeállítása és bekapcsolása

1) A Van de Graaff generátor általában egy szigetelt talpon álló nagy fém testből, egy a töltéseket szállító szalagból, egy szalagot forgató motorból és egy földelőgömbből áll. Összeállításakor általában csak a motor tápegységét kell csatlakoztatni, valamint a szalag alján található fém fűrészfogakat és a földelő gömböt leföldelni. Nagyon fontos annak ellenőrzése, hogy a földelőgömb csatlakozik-e elektromos földeléshez! Kellemetlen meglepetést okozhat ennek hiánya.
2) Fogjuk meg egyik kezünkkel a földelőgömb szárát (akár fel is emelhető). **A földelőgömböt a demonstráció során végig a kezünkben tartjuk**; ez biztosítja, hogy ne töltődjünk fel.
3) Kapcsoljuk be a tápegységet!
4) Első használat során süssük ki többször a generátort. Ha 5-10 cm-es szikrákat tud csinálni, akkor megfelelően működik.

Van de Graaff generátor kikapcsolása

1) Az egyik kezünkben lévő földelőgömböt hozzuk érintkezésbe a tápegység burkolatával és tartsuk ott, amíg a másik kezünkkel a tápegységet ki nem kapcsoljuk. (Azaz érintsük a földelőgömb gömb részét a tápegység tetejéhez, és a kikapcsolás alatt végig tartsuk is ott!) Ezzel elvezetjük a tápegységen felgyűlt töltéseket.
2) Süssük ki a Van de Graaff generátort: érintsük a földelőgömböt a szivarhoz, akár többször is.

7.7. Kísérletek a csúcshatásra

a) Gyertyaláng elfújása elektromos széllel

A kísérlet célja

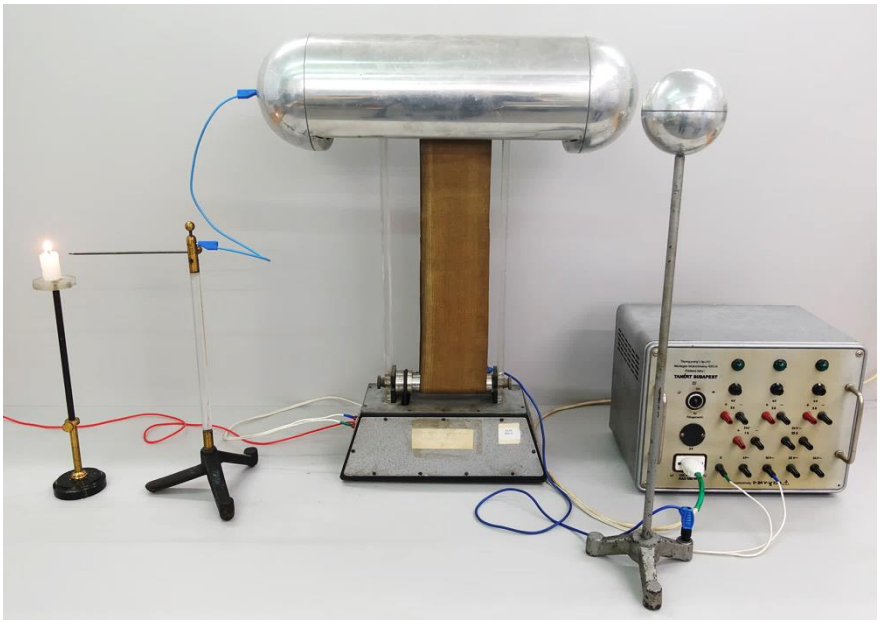
Csúcshatás demonstrálása elektromos szél bemutatásával.

Szükséges anyagok, eszközök

- Van de Graaff generátor földelő/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Állvány hosszú szigetelő szárral, hegyes fémpálcával
- Hosszú szárú, állítható magasságú gyertyatartó állvány gyertyával
- Vezeték

Leírás

Az ábrán látható módon kössük össze egy rövid vezeték segítségével a Van de Graaff generátor szivarját és a szigetelőállványon lévő tűt úgy, hogy a vezeték ne érjen semmihez. Az égő gyertyát tegyük egy állványra, a tű csúcsával egy vonalba, attól 1-2 cm-re. Indítsuk el a Van de Graaff generátort. Figyeltessük meg, hogy néhány másodpercen belül a keletkező elektromos szél a gyertya lángját elhajlítja.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi az elektromos szél?

b) Elektrosztatikus Segner-kerék működtetése

A kísérlet célja

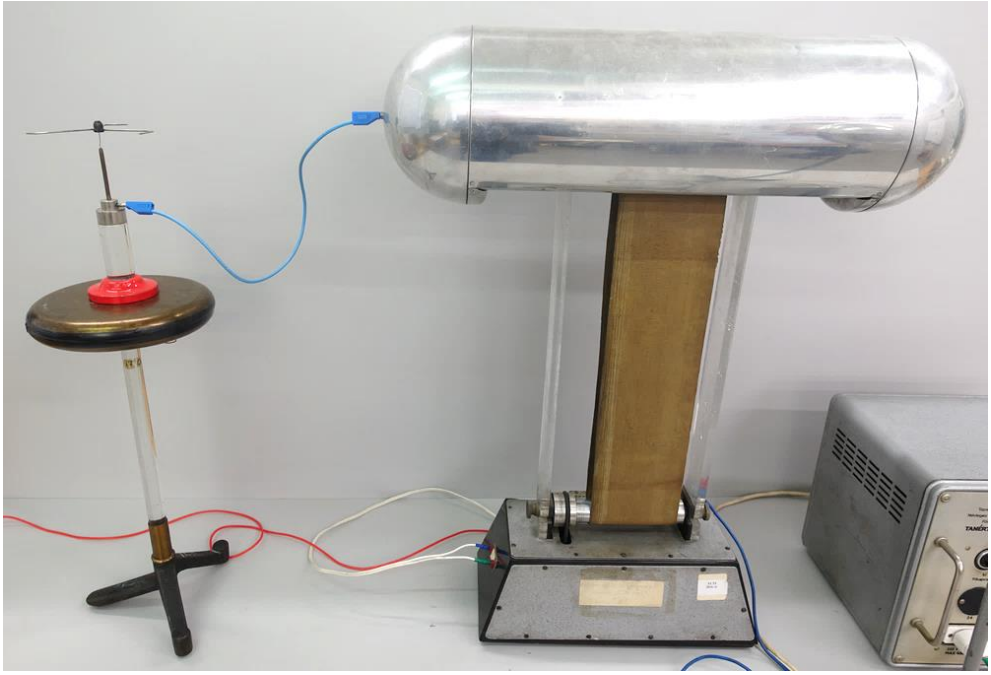
Csúcshatás jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Van de Graaff generátor földelő/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Állvány hosszú szigetelő szárral, tetején réztányérral
- elektrosztatikus Segner-kerék

Leírás

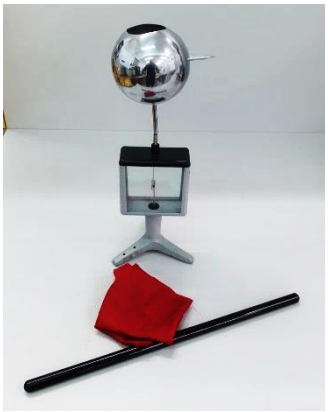
Az ábrán látható módon kössük össze egy rövid vezeték segítségével a Van de Graaff generátor szivarját és az állványra helyezett Segner-kereket úgy, hogy a röpzsinór végig a levegőben fusson. A Van de Graaff generátor elindítása után a kerék forogni kezd.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan működik a Segner-kerék? Mi a kapcsolata az elektromos széllel?

c) Elektroszkóp feltöltése csúcshatással



A kísérlet célja

Csúcshatás demonstrálása: a csúccsal ellátott vezető elszívja a közelébe tett töltött anyag töltéseit.

Szükséges anyagok, eszközök

- Elektroszkóp (fémgömb nélkül)
- Faraday-féle pohár
- tüske a Faraday-féle pohárhoz

Leírás

Az elektroszkópra helyezett, tűvel ellátott Faraday-féle pohár tűjéhez közelítsük (de ne érjünk hozzá) a megdörzsölt ebonitrudat, majd távolítsuk el. Az elektroszkóp töltést jelez.

Módszertani kiegészítések

- A csúcshatáshoz kapcsolódik a villámhárító működése is, ezért érdemes ezt is itt tárgyalni, valamint szemléletes videókat bemutatni: Villám csapása villámhárítóba

7.8. Kísérletek Faraday-kalitkával és Faraday-pohárral

a) Faraday-kalitka

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy sztatikus körülmények között a töltés a vezető felületén helyezkedik el és a vezetőben lévő üregben a térerősség nulla, ha az üregben nincsen „töltésforrás”.

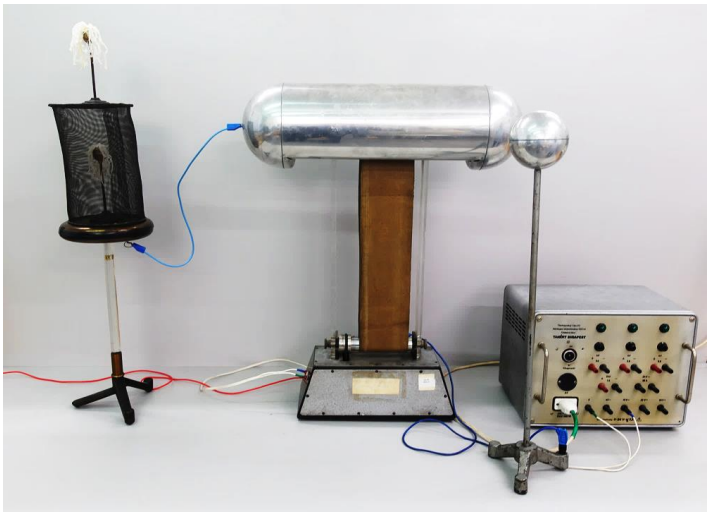
Szükséges anyagok, eszközök

- Van de Graaff generátor földelő/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Állvány hosszú szigetelő szárral, tetején réztányérral
- Faraday-kalitka
- vezeték krokodilcsipesszel
- Fémtalpas papír elektroszkóp (papírhajú „babák”)

Leírás

Helyezzük az egyik elektroszkópot a réztányéros állványra, borítsuk rá a Faraday-kalitkát (ami egy sűrű fémhátóból álló dobozka), tegyük erre rá a másik babát. Kössük össze a Van de Graaff generátor szivarját az állvány réztányérjával. A vezeték viszonylag rövid legyen, és ne érjen semmi máshoz (pl. asztalhoz). Indítsuk el a Van de Graaff generátort. Kapcsoljuk ki a generátort, amikor a külső baba haja felállt.

Száraz időben nem is szükséges beindítani a generátort, elég csak kétszer-háromszor kézzel meghúzni a generátor szalagját.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A Van de Graaff generátorral való feltöltés után miért áll fel a kinti baba haja, és miért nem áll fel a benti baba haja? Készítsünk magyarázó ábrát!
- Milyen gyakorlati előfordulásai, alkalmazásai vannak a jelenségnek?
- Mik a lényeges különbségek a szigetelés és az árnyékolás között?

Módszertani kiegészítések

- A háló belsejében a térerősség 0. A hétköznapokban a diákok gyakran emlegetik a térerősséget, hiszen a mobiltelefonjuk adatátvitele ettől függ. Felmerül a kérdés: Ha a mobiltelefonunkat Faraday-kalitkába rakjuk, akkor nem lehet hívni? Logikus

feltételezés, hiszen ott nincs térerősség. A válasz az, hogy lehet, hiszen az a térerősség, amit a diákok gyakran emlegetnek egy gyorsan változó elektromágneses tér „térerőssége” és nem elektrosztatikus. Fontos Faraday-kalitka esetében kihangsúlyozni, hogy megállapításaink sztatikus elektromos tér esetén igazak.

- Van de Graaff generátor mellett még Tesla-tekerccsel szoktak nagy feszültségeket előállítani demonstrációs célból. A következő videókon Faraday-kalitkába bújt embereket lehet, ahogy a Tesla-tekercsekkel zenélnek.

Egyszemélyes Faraday-kalitka

Star Wars zene Tesla-tekerccsel 1, 2

b) Faraday-pohár

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a töltés a vezető felületén helyezkedik el és a vezetőben lévő üregben a térerősség nulla, ha az üregben nincsen „töltésforrás”.

Szükséges anyagok, eszközök

- Van de Graaff generátor földelő/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Faraday-pohár
- 2 db elektroszkóp (a képen szögletes házban, fémgolyó nélkül)
- szigetelő nyelű fémgömb

Leírás

Helyezzük a Faraday-poharat az elektroszkópra. Húzzuk meg egyszer-kétszer a Van de Graaff generátor szalagját, majd érintsük a szigetelőpálcára erősített fémgolyót a szivarhoz.

Végezzük el az alábbi kísérleteket:

1) Dugjuk a szigetelőpálcára rögzített feltöltött fémgolyót a pohár belsejébe, anélkül, hogy a golyó a pohárhoz érne, majd vegyük el a fémgolyót. Mi történik?

2) Érintsük a szigetelőpálcára rögzített feltöltött fémgolyót a pohár belső falához. Marad-e ezután töltés a fémgolyón? Ellenőrizzük a másik elektroszkóppal!

3) (Ha van még töltés a Faraday-poháron, akkor először süssük ki – pl. érjünk hozzá.) Töltsük fel újra a fémgolyót, és most érintsük a pohár külső falához. Marad-e ezután töltés a fémgolyón? Ellenőrizzük a másik elektroszkóppal!

4) Most töltsük fel a Faraday-poharat (pl. megdörzsölt ebonitrúddal), és vegyük le a töltést a fémgolyóról. Érintsük a szigetelőpálcára rögzített fémgolyót a pohár belső falához. Sikerült-e töltést levenni a pohár belső faláról? Ellenőrizzük a másik elektroszkóppal!

5) A feltöltött Faraday-pohár külső falához érintve a semleges fémgolyót sikerül-e töltést levenni a pohárról? Ellenőrizzük a másik elektroszkóppal!

7.9. Töltött testek körül kialakuló erővonalrendszer modellezése olajba szórt darával, dipólláncok kialakulása

A kísérlet célja

Elektromos erővonal-szerkezetek szemléltetése.

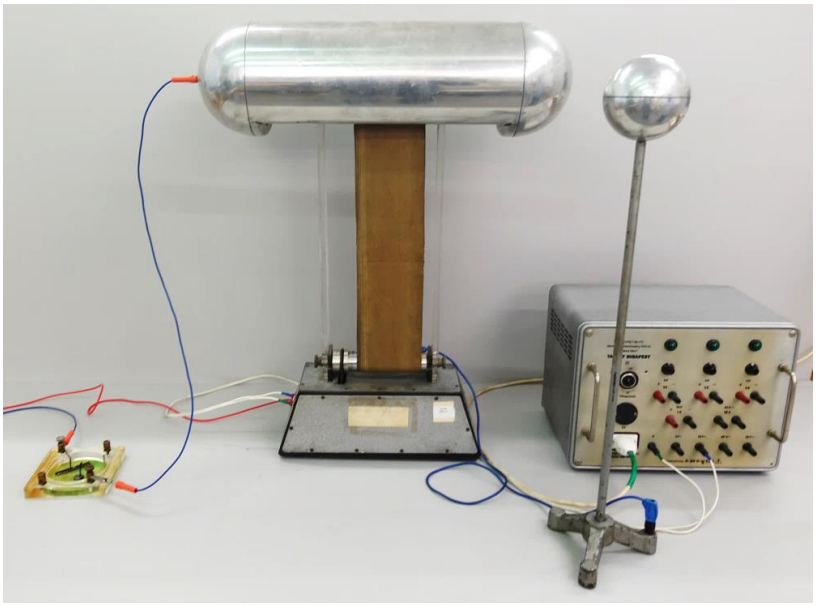
Szükséges anyagok, eszközök

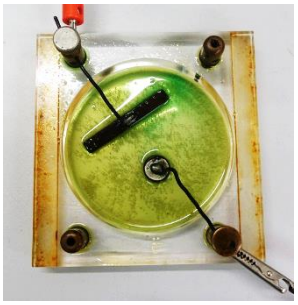
- Van de Graaff generátor földelő-/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Plexi tányér ricinusolajjal és búzadarával az elektrosztatikai vonalrendszer bemutatására; különböző alakú elektródák
- vezetékek

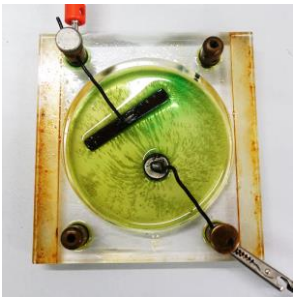
A mérés részletes leírása

A plexi tányérba rögzítsünk két tetszőleges elektródát. Az egyik elektródát kössük a Van de Graaff generátor szivarjához, míg a másikat földeljük le, pl. a Van de Graaff generátor földelőgömbjéhez csatlakoztatva. A Van de Graaff generátort és az elektródát összekötő vezeték nem érhet az asztalhoz! Húzzuk meg egyszer-kétszer a Van de Graaff generátor szalagját vagy indítsuk el a Van de Graaff generátort. Figyeltessük meg a daraszemek átrendeződését és a daraszemcsék által kirajzolt mintázatot.

Különböző alakú elektródákat helyezve a plexi tányérba, vizsgáljuk meg a kialakult elektromos mezők szerkezetét!







Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Az egyes elektródapárok esetén a daraszemcsék elrendeződéséről készítsünk vázlatos ábrákat.

Módszertani kiegészítések

- A daraszemcsék rendeződése írásvetítővel kivetíthető. Ekkor vigyázzunk arra is, hogy a Van de Graaff generátort és az elektródát összekötő vezeték nem érhet az írásvetítőhöz sem!

7.10. A kapacitás fogalmának kialakítására szolgáló alapkísérlet bemutatása

a) Elektroszkóp lánccal

A kísérlet célja

A kapacitást befolyásoló tényezők bemutatása

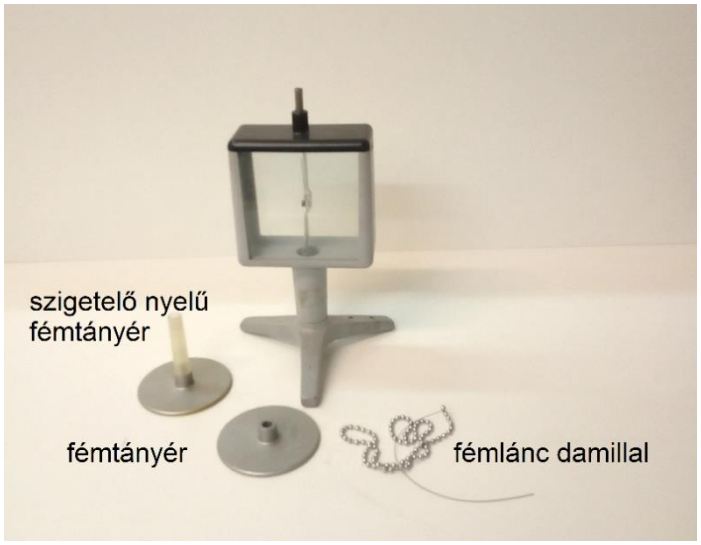
Szükséges anyagok, eszközök

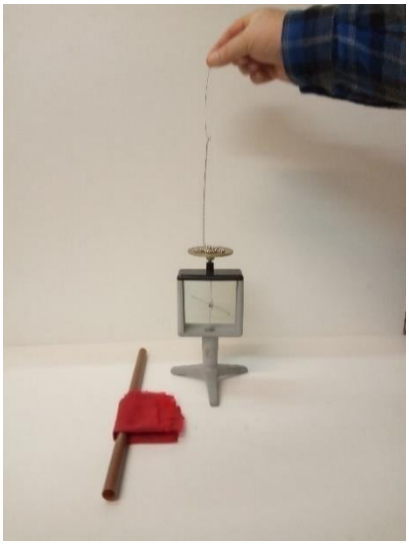
- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag (a képen piros)
- Elektroszkóp
- Fémtányér, elektroszkópra csatlakoztatható
- Fémlánc, kb 50 cm hosszúságú, egyik végére 25 cm-es damilszál (szigetelő) kötve

Leírás

Helyezzük a fémtányért az elektroszkópra, majd a damilnál fogva lógassuk a fémláncot a fémtányérra. (A fémlánc érjen a tányérhoz, de a kezünk ne kerüljön közel az elektroszkóphoz.) Vigyünk ezután töltést az elektroszkópra a megdörzsölt ebonitrúd segítségével. Változtassuk a fémlánc fémtányéron lévő mennyiségét a damilszál emelésével, illetve süllyesztésével. Ezáltal változik a vezető alakja. Figyeltessük meg, hogy ennek következtében változik az elektroszkóp mutatóinak távolsága.

Az elektroszkópok lemezeinek szétágazása elsősorban a feszültség mérésére használható. Így, mivel a kísérlet során az elektroszkópon lévő töltés mennyisége a feltöltés után már nem változik, a lemezek szétágazásának változásából a kapacitás változására következtethetünk a $C = \frac{Q}{U}$ képlet alapján.





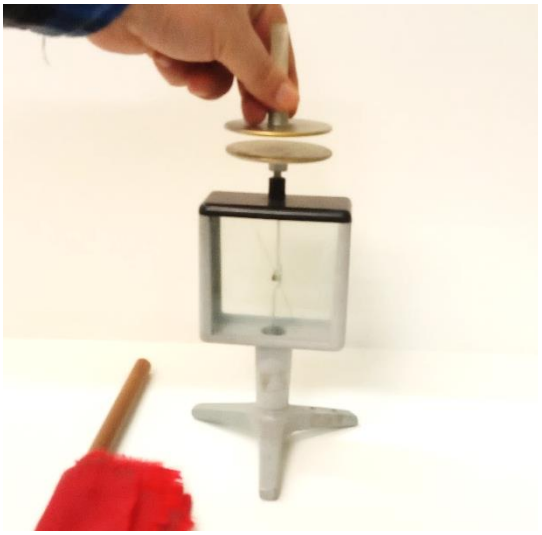
b) Kondenzátor kapacitása

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a síkkondenzátor kapacitása függ a fegyverzetek távolságától.

Szükséges anyagok, eszközök

- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag
- Elektroszkóp
- Fémtányér, elektroszkópra illeszthető
- Szigetelő nyelű fémtányér



Leírás

Helyezzük az egyik fémtányért az elektroszkópra, majd töltsük fel az elektroszkópot megdörzsölt ebonitrúddal. Fogjuk meg a szigetelő nyelű fémtányért úgy, hogy ujjunk hozzáérjen ehhez a fémtányérhoz (ezzel biztosítjuk a földelést), majd közelítsük az elektroszkópra helyezett fémtányérhoz. Figyeltessük meg, hogyan változik az elektroszkóp lemezeinek állása!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan változik a feszültség és a kapacitás, ha a fémtányérokat közelítjük egymáshoz?

c) Kondenzátor kapacitásának változása szigetelőanyag hatására

A kísérlet célja

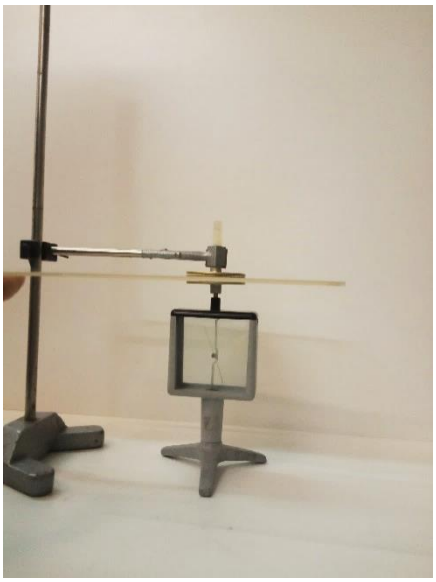
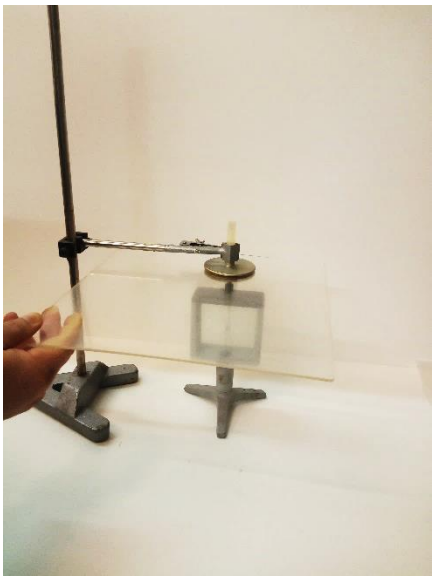
Annak bemutatása, hogy a síkkondenzátor kapacitása függ a fegyverzetek között lévő tér anyagi minőségétől.

Szükséges anyagok, eszközök

- Ebonitrúd (vagy műanyag cső, kb. 1 cm átmérőjű)
- Műszálas anyag
- Elektroszkóp
- Fémtányér, elektroszkópra illeszthető
- Szigetelő nyelű fémtányér
- Állvány és kémcsőfogó a szigetelő nyelű fémtányér befogásához
- Plexilap

Leírás

Helyezzük az egyik fémtányért az elektroszkópra, majd töltsük fel az elektroszkópot megdörzsölt ebonitrúddal. Fogjuk be a szigetelő nyelű fémtányért kémcsőfogóval az ábrán látható módon úgy, hogy a fémtányérok távolsága legfeljebb 1 cm legyen. Figyeljünk arra, hogy a kémcsőfogó érintkezzen a szigetelő nyelű fémtárcsa fém részével, így nem kell külön földelni a felső fémtárcsát. (Ha ez nem sikerül, akkor egy vezetékkel kössük össze a szigetelő nyelű fémtárcsa fém részét pl. a gázcsappal.) Dugjuk a fémtárcsák közé a plexilapot és figyeltessük meg, hogyan változik az elektroszkóp lemezeinek állása!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan változik a feszültség és a kapacitás, ha a fémtányérok közé plexilapot tolunk? Hogyan magyarázható a jelenség?

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet nem sikerül, ha a plexilemez szennyezett, nedves, vagy fel van töltve. A plexilemezt úgy tudjuk kisütni, hogy végigtapogatjuk mindkét oldalát.
- A kapacitás fogalmához kapcsolódik a jól ismert leideni palackos kísérlet. Ennek történelmi és fizikai érdekessége is van, mindenképpen érdemes említeni. Jegyzetünkben azért nem kap helyet, mert veszélyes. Ha jól látható jelenséget szeretnénk, akkor Van de Graaff generátorról kell feltölteni. A palack annyi töltést tud tárolni, melynek kisütése komoly fájdalmat és égési sérülést tud okozni.

7.11. Hajfelállítás

A kísérlet célja

Annak bemutatása, hogy a fizika szórakoztató. Az emberi test feltöltése Van de Graaff generátorral. Csúcshatás demonstrálása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Van de Graaff generátor földelő-/kisütőgömbbel, tápegységgel
- Zsámoly szigetelő lábakon

Leírás

Álljon az **A** diák a zsámolyra, és tegye az egyik kezét a Van de Graaff generátor szivarjára. A **B** diák fogja meg a földelőgömböt, és indítsa el a generátort. (A generátor kikapcsolásáig a **B** diáknak fognia kell a földelőgömböt). Néhány perc elteltével a zsámolyon álló **A** diák haja – különösen, ha előző nap volt mosva – fel fog állni. Ekkor a **B** diák a földelőgömböt a tápegység házához érintve és ott tartva kapcsolja ki a Van de Graaff generátort, de még NE süsse ki. (Különben megrázná az **A** diákot a rajta átfolyó áram.) Az **A** diák vegye le a kezét a szivarról és érintse az asztalhoz, így nagy ellenálláson keresztül lassan sül ki. Ezután már kisüthetjük a generátort is: érintse a **B** diák a földelőgömböt a szivarhoz.

7.12. Elektrosztatikai kísérletek házi eszközökkel

a) A hintázó ping-pong labda

A kísérlet célja

Az elektromos megosztás és az elektromos munkavégzés demonstrálása.

Szükséges anyagok, eszközök

- nagy (pl. barackbefőttes) konzervdoboz
- kis (pl. májkrémes) konzervdoboz
- tejfölös pohár
- grafittal bevont (grafitceruzával beszínezett) ping-pong labda cérnára függesztve
- állvány a ping-pong labda felfüggesztéséhez
- ebonit rúd
- műszálas anyag

Leírás

Állítsuk a nagy konzervdobozt az asztalra (földelt vezető). Állítsuk mellé a tejfölös poharat fejjel lefelé és tegyük rá a kis konzervdobozt (szigetelt vezető). Az állvány segítségével lógassuk a ping-pong labdát a két konzervdoboz közé úgy, hogy azoktól egyaránt 0,5-1 cm-re legyen, de semmiképpen ne érjen hozzá egyikhez sem.

Dörzsöljük meg az ebonit rudat bőrrel és közelítsük a kis konzervdobozhoz a nagy dobozzal átellenes oldalon. Tartsuk ott egy darabig a rudat.

Amennyiben a labda harangozása nem indulna el, toljuk közelebb hozzá a konzervdobozokat, illetve dörzsöljük meg a rudat erősebben.

Megfigyelhető, hogy a ping-pong labda először odavonzódik a kis konzervdobozhoz, nekiütközik, majd a nagynak ütközik és vissza. A jelenség folyamatosan ismétlődik, a labda harangozik a két konzervdoboz között. A labda mozgása egy idő után megáll, annak ellenére, hogy az ebonitrúd még a közelben van. A rúd elvétele után a labda újra harangozásba kezd.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A kísérlet magyarázatához készítsünk folyamatábrát, melyben jelezve van az aktuális töltéselrendeződés!

b) Szívószál-lebegtetés és vízsugár eltérítése

A kísérlet célja

Elektrosztatikus vonzás és taszítás bemutatása házi eszközökkel

Szükséges anyagok, eszközök

- üres PET-palack
- 3 db szívószál
- vatta
- fahasáb

Leírás

A. Szívószál lebegtetése

A PET-palack oldalán egymással szemben hozzunk létre egy-egy kivágást. Állítsuk a palack mellé a fahasábot úgy, hogy a hátsó kivágástól néhány cm-re legyen a fala. Így megakadályozza a szívószálak kiesését.

Dörzsöljünk meg vattával egy szívószálat és fektessük a résbe. Tegyük meg ugyanezt egy második szívószállal is. Figyeltessük meg, hogy a két szívószál egymást a lehető legtávolabbra taszítja.

Dörzsöljünk meg vattával egy harmadik szívószálat is és csúsztassuk a résbe. Figyeltessük meg, hogy szintén a legmesszebbre taszítódik a másik két szívószáltól, így felemelkedik a résben.

Módszertani kiegészítések

- Figyeljünk arra, hogy a szívószálakat teljes hosszukban megdörzsöljük.

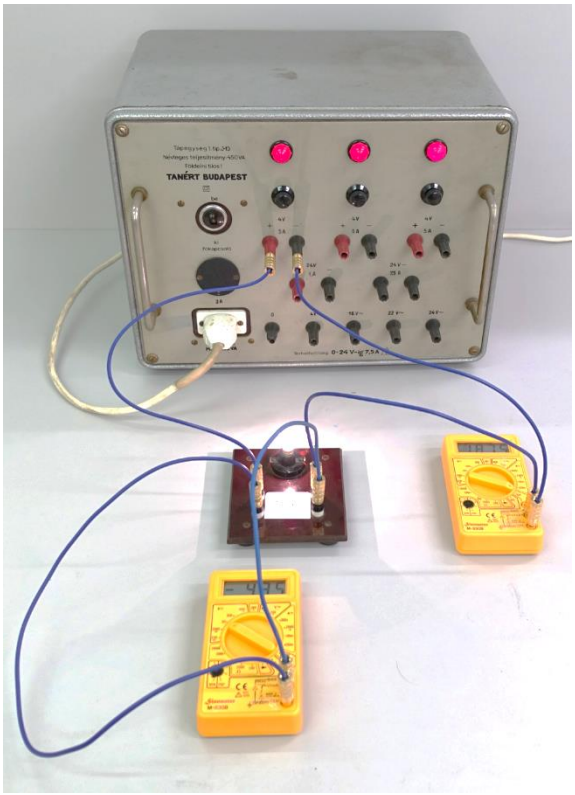
B. Vízsugár eltérítése

Nyissuk ki a vízcsapot annyira, hogy a lehető legvékonyabb, de már folytonos (lamináris) vízsugár jöjjön ki rajta. Dörzsöljük meg az egyik szívószálat a vattával, és közelítsük a vízsugárhoz. Figyeltessük meg, hogy a vízsugár elhajlik a szívószál irányába.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mit tapasztalnánk, ha nem vízsugárhoz, hanem kifolyó benzinhez közelítenénk a megdörzsölt szívószálat?

7.13. Feszültség és áramerősség mérése

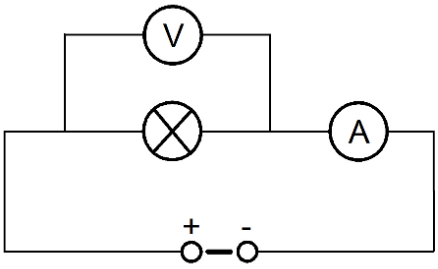


A kísérlet célja

Feszültség és áramerősség mérése, mérőeszközök helyes használatának megismerése.

Szükséges anyagok, eszközök

- tápegység (egyenáramú, 12 V-ig)
- banándugós vezetékek
- digitális multiméter, 2 db
- zseblámpaizzó, foglalatban

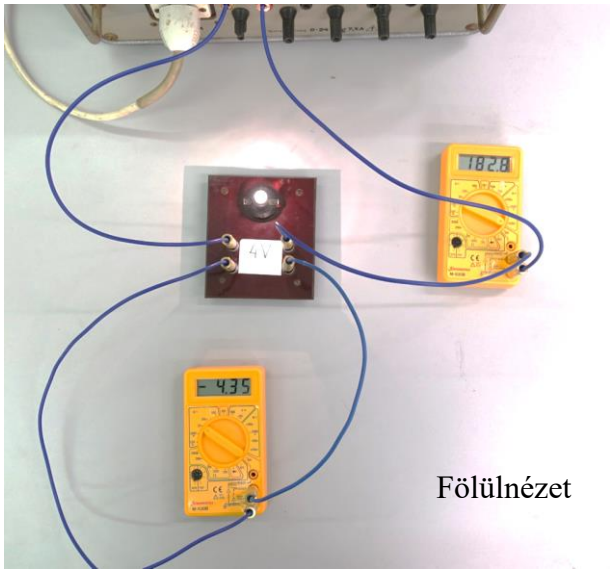


Leírás

Állítsuk össze a képen és kapcsolási rajzon látható egyszerű áramkört egy egyenáramú tápegység és egy zseblámpaizzó segítségével. A tápegység 4V-os kimenetére kössük az izzót. Digitális multiméterrel mérjük meg a körben folyó áramot, és az izzón eső feszültséget!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Figyeljük meg, mi történik, ha a kábeleket felcseréljük a digitális multiméterben. Magyarázzuk a tapasztaltakat! Mit jelent a feszültség, és áramerősség pozitív, illetve negatív értéke?
- Milyen kapcsolás szerint kell helyesen mérni a feszültséget és az áramerősséget? Mi történne, ha fordítva kapcsolnánk a feszültségmérőt vagy az áramerősség-mérőt?



Fölülnézet

Módszertani kiegészítések

- Az digitális multiméterrel elvégzett kísérletek minden esetben megcsinálhatók demonstrációs V/A mérő segítségével, valamint az áramkörök összerakhatók elektrovaria eszközön. Ha rendelkezésre állnak ilyen eszközök, akkor mindenképpen ezekkel érdemes csinálni. A laborban multimétert használunk azokon a helyeken, ahol a hallgatók a hibás kötések miatt gyakran tönkreteszik az eszközöket.
- A digitális multiméter használata nem egyszerű a diákok számára (a hallgatók is minden félévben tönkretesznek néhányat) érdemes nagyon pontosan bemutatni a működését és használati útmutatót is csinálni, erre adunk egy mintát a laboron használt eszközről. Érdemes a digitális multiméter mellett egy demonstrációs analóg V/A mérő működését is bemutatni. Fontos demonstrálni a műszerek helyes használatát (mért mennyiség kiválasztása, méréshatár kiválasztása, leolvasás pontossága stb.).

Digitális multiméter rövid használati útmutatója

Figyelem!

Az áramot mindig sorosan, a feszültséget mindig párhuzamosan kapcsolt műszerrel mérjük.

Az ellenállásmérés előtt kapcsoljuk ki a tápegységet/áramforrást!

7.14. Ohm-törvény mérése ellenállással és izzószállal

A kísérlet célja

Ohm-törvényének kimérése és korlátainak vizsgálata.

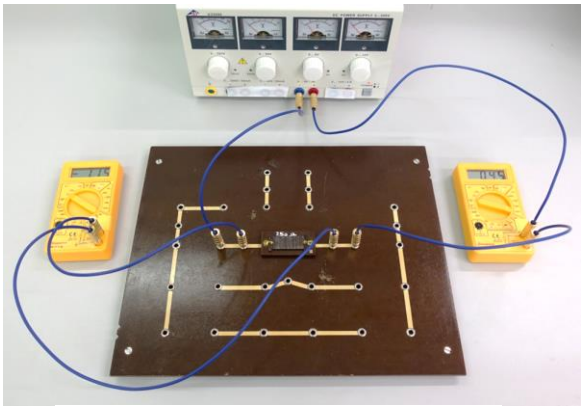
Szükséges anyagok, eszközök

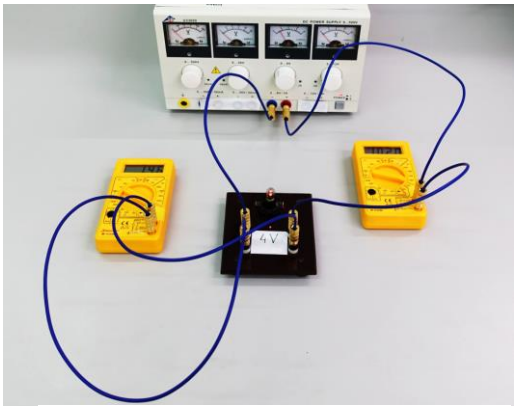
- tápegység (egyenáramú, 0-4 V között változtatható)
- digitális multiméter, 2 db
- zseblámpaizzó, foglalatban
- próbapanel
- 250 Ω-os ellenállás, próbapanelhez illő foglalatban
- banándugós vezetékek

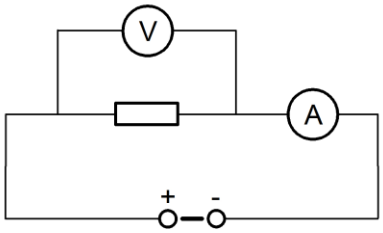
Leírás

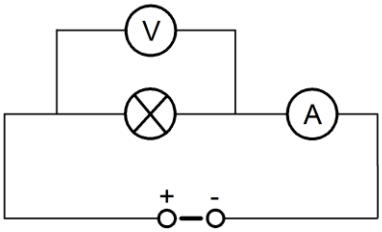
Szereljük össze a bal oldali képen és kapcsolási rajzon látható összeállítást. A tápegység kimeneti feszültségét állítsuk 0 V-ra, majd kapcsoljuk be az eszközt.

- Változtassuk az ellenálláson eső feszültséget 0-4 V tartományban 0,5 V-onként és mérjük meg a fogyasztón átfolyó áram erősségét. Az adatokat foglaljuk táblázatba és ábrázoljuk a feszültséget az áramerősség függvényében. Magyarázzuk meg a függvénygörbe alakját! A mérés alapján határozzuk meg a fogyasztó ohmikus ellenállását.
- A mérést és az adatok ábrázolását végezzük el egy zseblámpa izzószála esetében is. Mit állíthatunk a mérés adatai alapján az izzószál ohmikus ellenállásáról? Magyarázzuk meg!









Módszertani kiegészítések

- A kísérletek tapasztalata alapján döntés előtt állunk: vagy látványosan szemléltetjük Ohm-törvényét izzókkal, ekkor azonban nem kvantitatív a mérésünk, vagy pontosan, ellenállások segítségével, de ez nem túl látványos. Az óra célja és a diákcsoport adottságai alapján döntsük el, melyik utat választjuk!

7.15. Soros- és párhuzamos kapcsolás feszültség- és áramerősség-viszonyainak mérése

A kísérlet célja

Soros- és párhuzamos kapcsolás feszültség- és áramerősség-viszonyaira megismert összefüggések kísérleti alátámasztása.

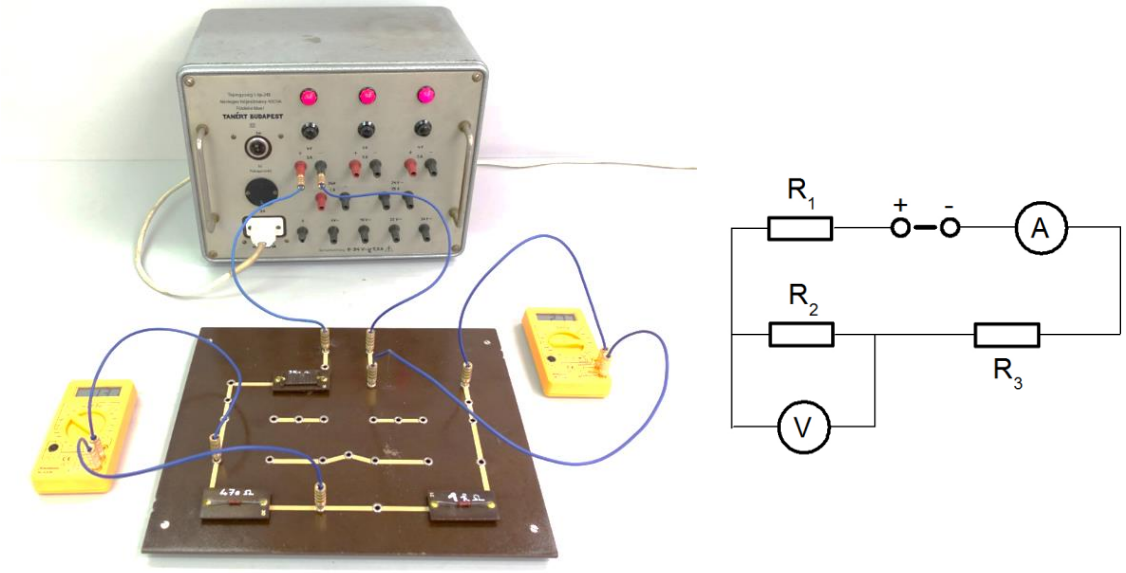
Szükséges anyagok, eszközök

- tápegység (egyenáramú, 4 V-os)
- próbapanel
- digitális multiméter, 2 db
- ellenállások próbapanelhez illő foglalatban (célszerűen 250 Ω-os, 500 Ω-os, 1000 Ω-os)
- banándugós vezetékek
- átkötő vezeték próbapanelhez illő foglalatban, 3 db

a) Soros kapcsolás

Leírás

Állítsuk össze a képen és kapcsolási rajzon látható egyszerű soros kapcsolást három különböző ellenállásból (R_1=250 Ω, R_2=500 Ω, R_3=1 kΩ).



Az ellenállásokat próbapanelra érdemes csatlakoztatni, a felső ábrán látható módon, mert így a legkönnyebb mérni a feszültséget és az áramerősséget minden áramköri elemen. A képen látható kapcsolás természetesen csak egy lehetséges elrendezést mutat. A próbapanelen sokféleképpen megvalósítható az elvi elrendezés.

- Kapcsoljunk 4 V feszültséget a fogyasztókra.
- Mérjük meg az egyes ellenállásokon eső feszültséget és a rajtuk áthaladó áram erősségét. Foglaljuk táblázatba az adatokat.
- Számítsuk ki a mért adatokból az egyes fogyasztók ellenállását. Vessük ezt össze a digitális multiméterrel mért ellenállás értékével.

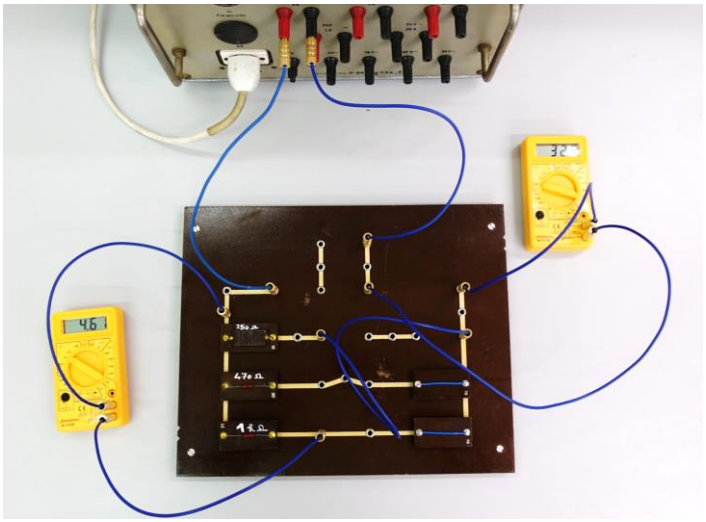
- Számoljuk ki a rendszer eredő ellenállását. A digitális multiméter ellenállásmérő funkciójával mérjük meg az áramkör eredő ellenállását.
- Vessük össze a mérési adatainkat a soros kapcsolás tanult jellemzőivel.

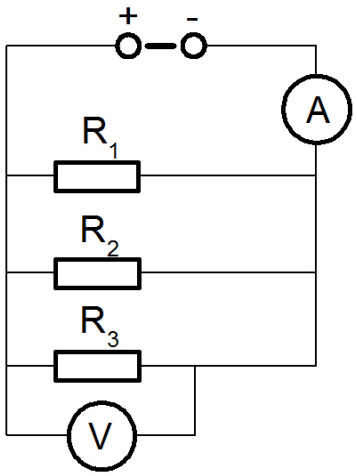
b) Párhuzamos kapcsolás

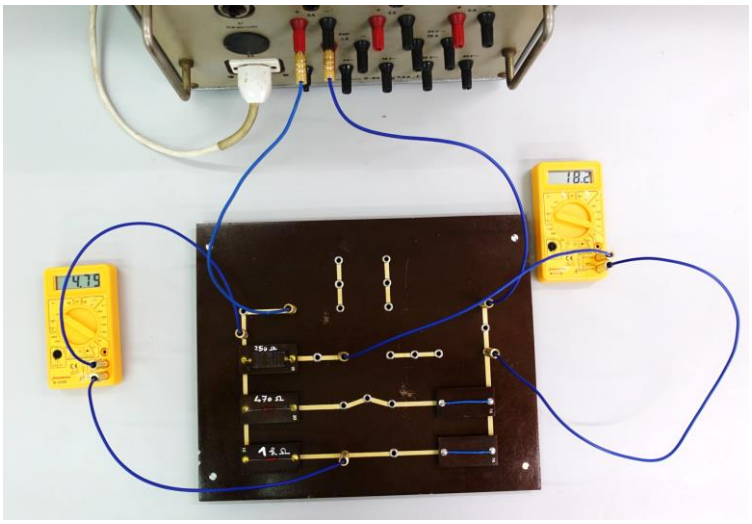
Leírás

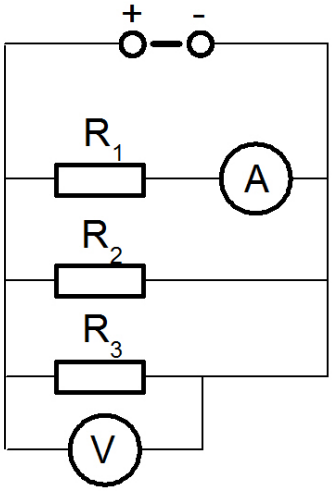
Állítsuk össze a képeken és kapcsolási rajzokon látható egyszerű párhuzamos kapcsolást három különböző ellenállásból (R_1=250 Ω, R_2=500 Ω, R_3=1 kΩ)!

- Kapcsoljunk 4 V feszültséget a fogyasztókra.
- Mérjük meg az egyes ellenállásokon eső feszültséget és a rajtuk áthaladó áram erősségét. Foglaljuk táblázatba az adatokat.
- Számítsuk ki a mért adatokból az egyes fogyasztók ellenállását. Vessük ezt össze a digitális multiméterrel mért ellenállás értékével.
- Számoljuk ki rendszer eredő ellenállását. A digitális multiméter ellenállásmérő funkciójával mérjük meg az áramkör eredő ellenállását.
- Vessük össze a mérési adatainkat a párhuzamos kapcsolás tanult jellemzőivel.









Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A kísérletek alapján (és a mérőműszerek működését ismerve) fogalmazzuk meg, hogy a feszültséget miért párhuzamos kapcsolásban és az áramerősséget miért soros kapcsolásban mérjük!

Módszertani kiegészítések

- Azért érdemes viszonylag nagy ellenállásokat választani (~kΩ) és kis feszültséget, hogy az áramkörben kis áramok folyjanak, így minimalizálva a hőfejlődést, valamint így a mérőműszerek is nagyobb biztonságban vannak.

7.16. Hőfejlődés vizsgálata áramjárta vezetőkön

A kísérlet célja

Az I áramerősségű árammal átjárt R ellenállású vezetőn t idő alatt fejlődő Q Joule-hő kiszámítására megismert

$$Q = I^2 R \cdot t$$

összefüggés demonstrálása.

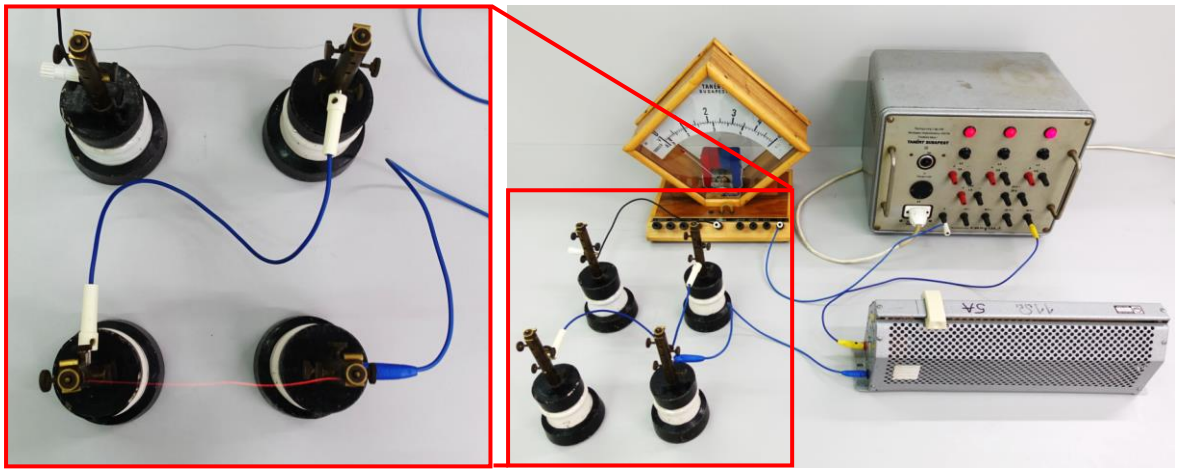
Szükséges anyagok, eszközök

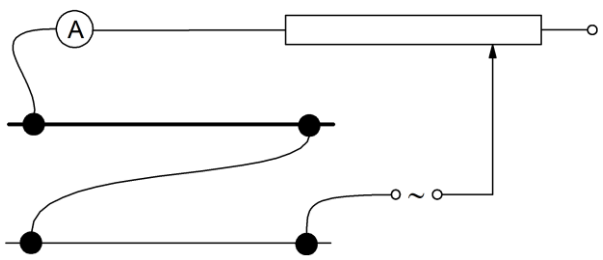
- tápegység (váltakozó feszültségű, 24 V-os)
- tolóellenállás, 13 Ω-os
- demonstrációs V/A mérő, középállású
- drótközpont, 4 db
- banándugóval ellátott vezetékek
- Kanthal-huzalok, 2 db (15-15 cm hosszúságú, 40 Ω/m, illetve 80 Ω/m ellenállású)
- Huzal-lánc (40 Ω/m, illetve 80 Ω/m ellenállású Kanthal-huzalokból csomózott 15 cm hosszúságú lánc)

a) Sorba kapcsolt ellenállások esetén

Leírás

Szereljük össze az ábrán látható összeállítást. Vegyünk két egyenlő hosszúságú, de különböző ellenállású huzaldarabot és erősítsük ezeket két-két drótközpont közé az ábrán látható módon. Kapcsoljuk az így előkészített huzalokat sorba, és árammérő műszeren (melynek méréshatárát 5 A-re állítottunk), tolóellenálláson át kapcsoljunk rá 24 V váltakozó feszültséget. Bekapcsoláskor a tolóellenállás a maximális értéken legyen!



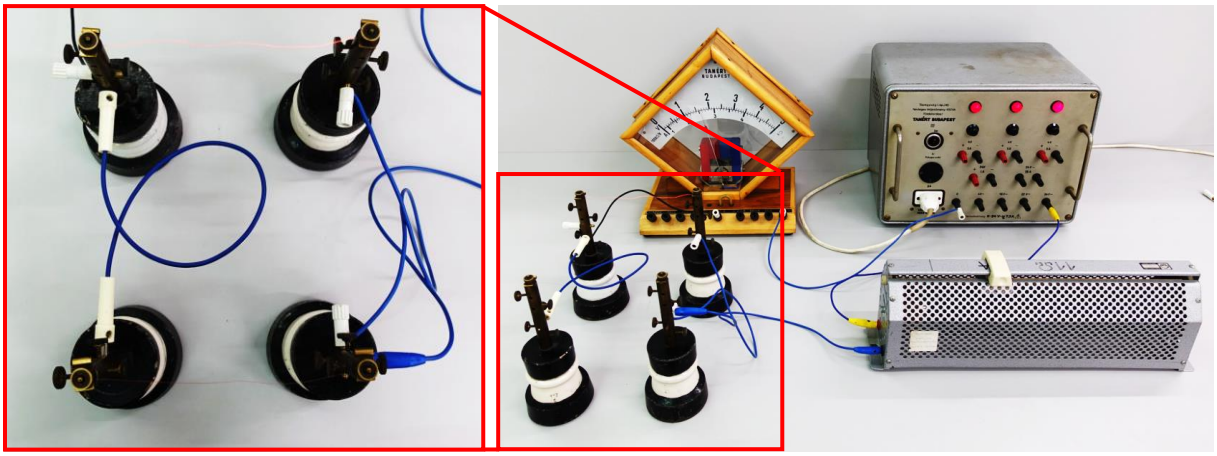


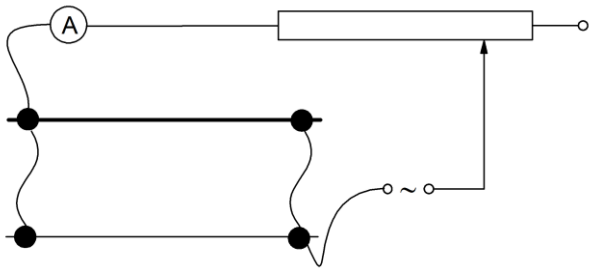
Csökkentsük a tolóellenállás ellenállásának értékét! Egy meghatározott áramerősséget túllépve (esetünkben kb. 1A) a nagyobb ellenállású huzal izzik, a másik nem.

b) Párhuzamosan kapcsolt ellenállások esetén

Leírás

Rendezzük át az összeállítást az ábra szerint. (Előtte húzzuk a tolóellenállást a maximális értékre, és kapcsoljuk ki a tápegységet!) Most a két huzal párhuzamosan van kötve. Kapcsoljuk be a tápegységet, csökkentsük a tolóellenállás ellenállásának értékét. Kb. 3 A áramerősséget meghaladva a kisebb ellenállású huzal izzását láthatjuk.





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

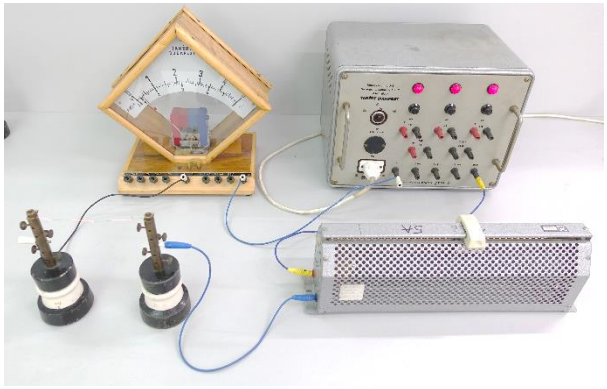
- Magyarázzuk meg a kísérletek eredményét és ismertessük a soros és párhuzamos kapcsolás esetén létrejövő hőképződések matematikai hátterét!

c) A hőfejlődés különböző vezetőkből készült láncon

Leírás és feladat

Látványos kísérlet állítható össze sorosan kapcsolt ellenállás-huzalokkal, ha kétféle huzalból hosszabb „láncot” készítünk oly módon, hogy 6-8 darabot egymás után csomózunk felváltva.

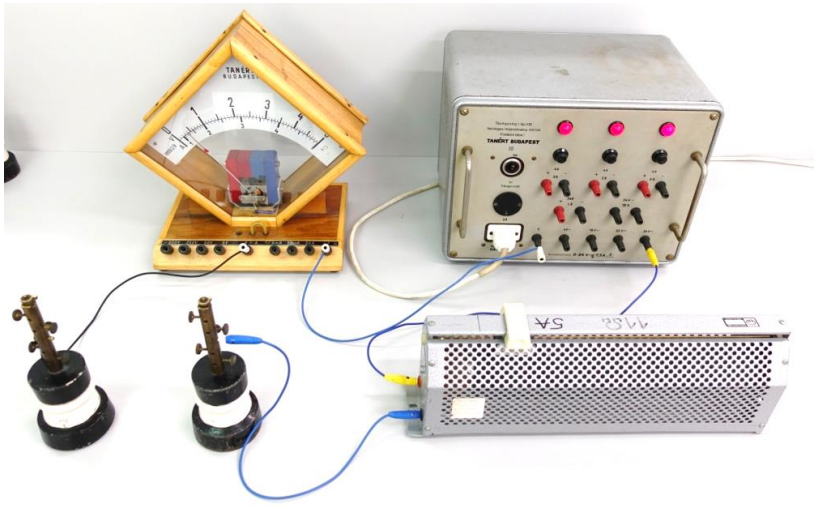
Rendezzük át az a) pont összeállítását a fénykép szerint, melyben az a különbség, hogy most csak 2 drótközpontra van szükség, és a drótközpontokba most a láncot fogjuk be. (Előtte húzzuk a tolóellenállást a maximális értékre, és kapcsoljuk ki a tápegységet!) Kapcsoljuk be a tápegységet, csökkentsük a tolóellenállás ellenállásának értékét, míg néhány láncszem izzani nem kezd!



d) A hőfejlődés és a vezető alakja közötti összefüggés bemutatása

Leírás és feladat

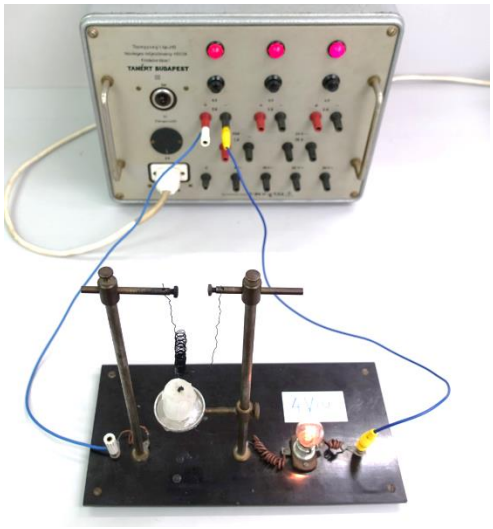
Rendezzük át az a) pont összeállítását a fénykép szerint. (Előtte húzzuk a tolóellenállást a maximális értékre, és kapcsoljuk ki a tápegységet!) Csavarjuk az ellenálláshuzalt egymást követő egyenes- és spirál alakra és fogjuk be drótközpontok közé. Kapcsoljuk az így kialakított huzalra a feszültséget és változtassuk a tolóellenállás ellenállását. Megfelelő áramerősségnél a spirál szakaszok izzásba jönnek, de az egyenes szakaszok nem. Ez a kísérlet látszólag ellentmond az előző kísérleteknek, hiszen a kanthal-huzal fajlagos ellenállása azonos a tekercselt és egyenes részeken. Magyarázzuk meg a jelenséget!



Módszertani kiegészítések

- Az egyenes-spirál huzal házilag is elkészíthető. Célszerű adatok: 30 cm hosszúságú, 40 ohm/méter értékű kanthal-huzal, 10-10 szoros menetben egy-egy gyufaszáldarabra csavarva. A kísérlet bemutatása előtt az áramerősséget növelve égessük ki a gyufaszál darabokat. Így egyenletesen tekercselt spirálszakaszokat kapunk.

7.17. Az ellenállás hőmérsékletfüggésének demonstrálása



A kísérlet célja

Az ellenállás hőmérsékletfüggésének egyszerű demonstrációja.

Szükséges anyagok, eszközök

- Tápegység (egyenáramú, 4V-os)
- 30W-os izzó foglaltban, hozzá sorosan kapcsolt állványzattal és felfüggesztett spirálrugóval
- vezetékek

Leírás

Készítsünk vasdrótból spirált, kössük sorba egy 6V, 30W-os izzóval. Adjunk az áramkörre 4 V feszültséget, hogy a lámpa halványan világítson. Hevítsük a vasdrót-spirált gyertyával. Figyeltessük meg, hogy a lámpa halványul, esetleg kialszik.

A kísérlethez kapcsolódó kérdések

- mi az anyagszerkezeti magyarázata a fémek ellenállásának hőmérséklet hatására történő változásának?
- Hogyan változik a félvezetők ellenállása a hőmérsékletváltozás hatására?
- Milyen előfordulása, alkalmazása van az ellenállás hőmérsékletfüggésének?

7.18. Wolframszál hőmérsékleti együtthatójának mérése

A kísérlet célja

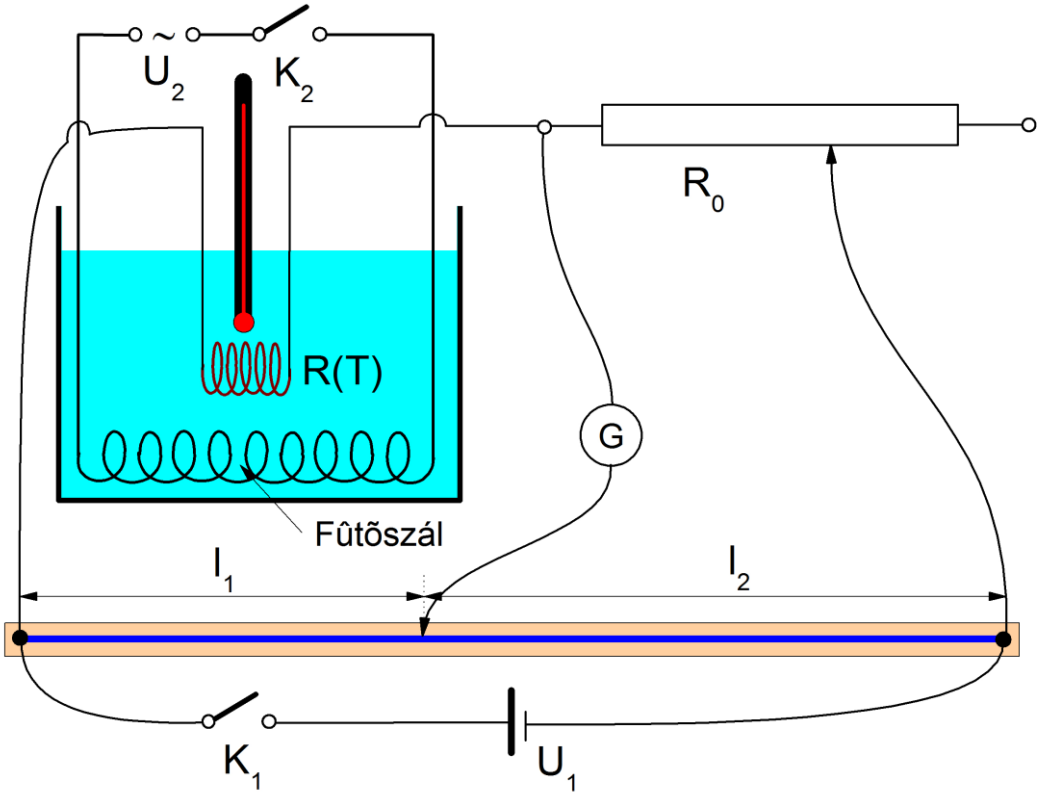
Wolframszál hőmérsékleti együtthatójának mérése, a Wheatstone-hidas kapcsolás megismerése.

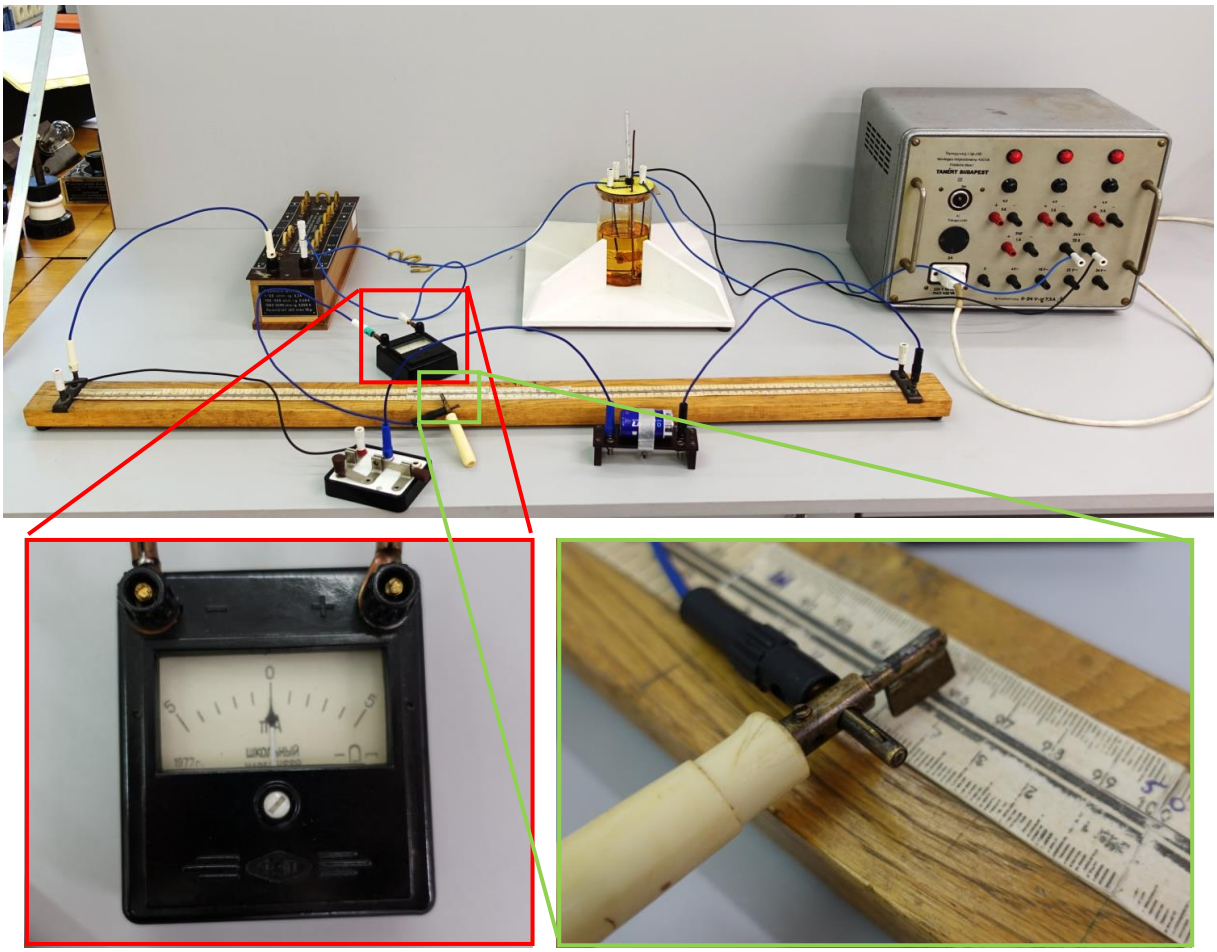
Szükséges anyagok, eszközök

- tápegység (váltakozó feszültségű, 6 V-os)
- wolfram-szál fűtőszállal és hőmérővel ellátott petróleumfürdőben
- 1 m hosszúságú kanthal-huzal skálázott foglalatban
- Morse-kapcsoló
- középállású μA mérő
- ellenállás-doboz
- vezetékek
- 1,5 V-os telep (góliát vagy akkumulátor)

Leírás

Állítsuk össze a kapcsolási rajzon és fényképen látható kísérleti összeállítást.





A vizsgálandó wolframszál - két csillámlemez között védve - petróleum fürdőbe merül. A fürdő hőmérséklete 6 V váltófeszültségre kötött fűtőszállal növelhető. A minta ellenállását Wheatstone-híd kapcsolásban mérjük. R_0 ellenállás értékét állítsuk 32 Ω-ra. A hidat csak egyetlen (1,5V-os) elemmel működtessük, és a Morse kapcsolót csak röviden, az árammérő leolvasásának idejére kapcsoljuk be! (A mintán átfolyó áram ugyanis ellenőrizhetetlenül változtatja a hőmérsékletet.) A Wheatstone-hidas mérés lényege, hogy a G árammérőn akkor nem fog áram folyni, ha R_0 és $R(T)$ ellenállások aránya megegyezik az l_2 és l_1 hosszúságok arányával. A mérés során a Morse kapcsolóval zárjuk az áramkört (minél rövidebb ideig), majd a kanthal-huzalon mozgatjuk a szigetelő nyélen lévő, zászlószerű érintkezőt (lásd ábra) addig, míg a G árammérő nullát nem mutat. Ekkor az l_2 és l_1 hosszúság aránya leolvasható és (R_0 ismeretében) $R(T)$ számolható. A kanthal-huzal közepén érdemes kezdeni a letapogatást.

A petróleumfürdőbe tett minta ellenállását először szobahőmérsékleten mérjük meg, majd a fűtést bekapcsolva 5 °C-os lépésekben növeljük a fürdő hőmérsékletét. A fűtés kikapcsolása után a fürdőt kevergetve kb. 1 perc múlva érdemes a hőmérsékletet leolvasni.

Feladat

- Határozzuk meg a wolframszál ellenállását 5 különböző hőmérsékleten. Eredményeinket foglaljuk táblázatba, és készítsünk grafikont! Állapítsuk meg a wolframszál ellenállásának hőmérsékleti együtthatóját!

7.19. Kapocsfeszültség mérése a terhelés függvényében

A kísérlet célja

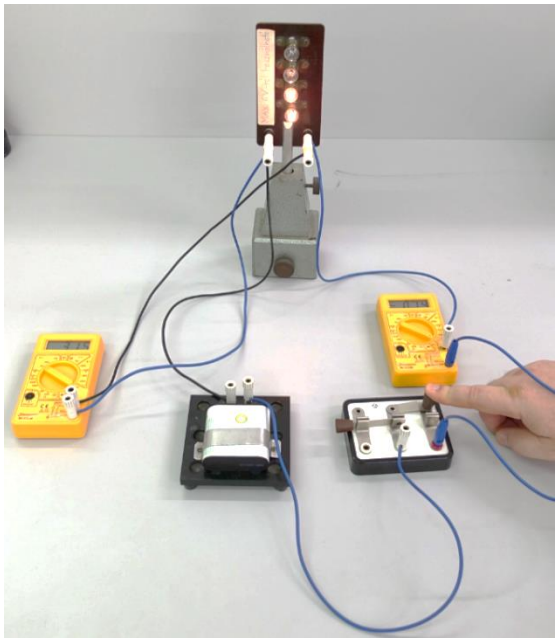
Kapocsfeszültség változásának mérése a terhelés függvényében. Telep belső ellenállásának meghatározása.

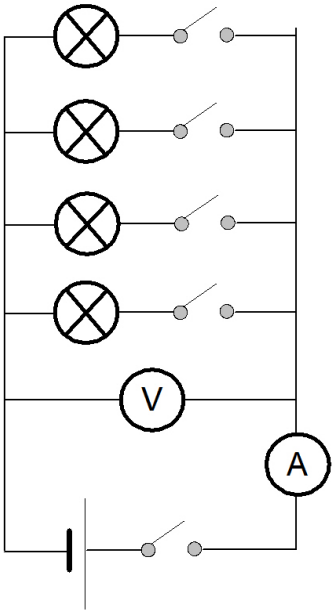
Szükséges anyagok, eszközök

- 4,5 V-os telep foglalatban
- digitális multiméter, 2 db
- banándugós vezetékek
- Morse kapcsoló
- 4 db, párhuzamosan kapcsolt zseblámpaizzó állványban (kezdetben lazán kicsavart állapotban)

Leírás

Állítsuk össze az ábrán látható kapcsolást: a négy zseblámpaizzót tartó panelt kapcsoljuk a telepre, egy Morse-kapcsolón és (árammérésre állított) digitális multiméteren keresztül. (A kísérletnél fontos, hogy az izzók viszonylag nagy teljesítményűek, pl. „kerékpár-dinamó izzók" legyenek.) A zsebizzókon eső feszültséget szintén digitális multiméterrel mérjük.





A kísérlet elején a párhuzamos kapcsolású tartófoglalatban az izzók csak lazán legyenek becsavarva úgy, hogy ne világítsanak (ez jelenti a kapcsolási rajzon az izzókkal sorosan kapcsolt kapcsolók nyitott állását). Így a zsebtelep (leszámítva a feszültségmérő műszer csekély áramát) árammentes. A feszültségmérő (gyakorlatilag) az elem U üresjárási feszültségét méri, az árammérő 0 áramerősséget jelez. Csavarjuk be az első zsebizzót. Az árammérő műszer az I terhelő áramot, a feszültségmérő pedig az U_k kapocsfeszültséget mutatja.

Csavarjuk be egymás után az összes izzót. Minden esetben mérjük meg, majd foglaljuk táblázatba a kapocsfeszültséget és a terhelő áramot. Ábrázoljuk az adatokat és határozzuk meg a telep belső ellenállását!

> ***Figyelem!***
> A digitális multimétert a 10 A méréshatárra kell beállítani!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Minek tulajdonítható egy telep belső ellenállása?

Módszertani kiegészítések

- A kísérletet elemmel érdemes elvégezni sohasem tápegységgel. A tápegységeknek is van belső ellenállása, de általában nagyon alacsony.

7.20. Kísérletek félvezetőkkel

a) Termisztor

A kísérlet célja

Bemutatni a félvezető ellenállásának hőmérsékletfüggését. Termisztoros hőmérő készítése.

Szükséges anyagok, eszközök

- termisztor (banándugós kivezetéssel)
- digitális multiméter
- „hústű” hőmérő
- műanyag kancsó vagy főzőpohár
- csapvíz

Leírás

Töltsünk meleg vizet a csapból a kancsóba (engedjük ki jól a csapot, hogy minél melegebb legyen a víz) és helyezzük bele a hőmérőt. Csatlakoztassuk a termisztort a multiméterhez, melyet ellenállásmérő funkcióba kapcsoltunk (200 Ω-os méréshatárral), majd merítsük be a vízbe. Ha a hőmérő megállapodott, és a termisztor ellenállásának értéke sem változik, olvassuk le a műszereket és jegyezzük fel értéktáblázatba az adatokat. Változtassuk fokozatosan a víz hőmérsékletét. Ehhez a meleg víz egy részét öntsük ki a pohárból és pótoljuk hideg csapvízzel. Összekeverés után várjuk meg, amíg a hőmérő és az ellenállásmérő értéke stabilizálódik és olvassuk le az értékeket. Így változtatva a hőmérsékletet, mérjünk legalább 5-6 pontban meg az ellenállást.

Feladatok

- A mérési adatokat foglaljuk táblázatba és ábrázoljuk grafikonon a termisztor ellenállásának hőmérsékletfüggését.
- A kapott ellenállás–hőmérséklet karakterisztikát tekintsük a termisztor-hőmérő kalibrációs grafikonjának. A termisztort két ujjunk közé szorítva határozzuk meg a kezünk hőmérsékletét.

b) LED feszültség-áramerősség karakterisztikájának mérése

A kísérlet célja

LED feszültség-áramerősség karakterisztikájának mérése, nyitófeszültség meghatározása.

Szükséges anyagok, eszközök

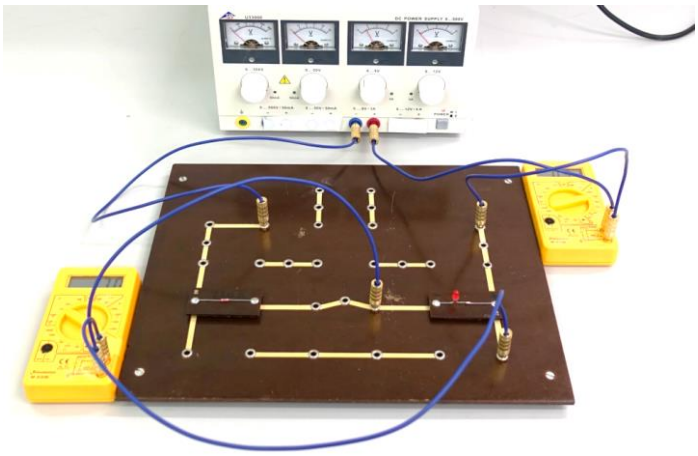
- tápegység (egyenáramú, 0-8 V, változtatható)
- banándugós vezetékek
- digitális multiméter, 2 db
- LED foglalatban
- próbapanel
- ellenállás, 220 Ω-os

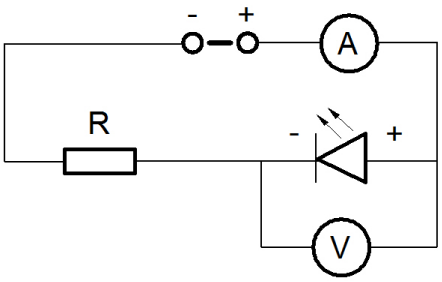
Leírás

Szereljük össze a képen és kapcsolási rajzon látható összeállítást! A tápegység potméterét állítsuk 0-ra, majd kapcsoljuk be az eszközt. A potméter csavarásával lehet a feszültséget változtatni, a multiméterről tudjuk leolvasni a LED-en eső feszültséget!

Feladatok

- Mérjük meg az áramerősség nagyságát a következő feszültségeken: 0; 1; 1,3; 1,5; 1,6; 1,65; 1,7; 1,75; 1,8; 1,85; 1,9; 1,95; 2 (Volt egységekben)! Az adatokat foglaljuk táblázatba és ábrázoljuk az áramerősséget a feszültség függvényében! Kezdetben az árammérőt 2000μA-es méréshatárra kell állítani, majd ha ezen túl nő az áram, akkor 20 mA-re átcsavarni.
- Fordítsuk meg az áram irányát (mely legkönnyebben úgy tehető meg, hogy a tápegységen felcseréljük a két vezetéket) és állítsuk a digitális multiméterünket 200 μA-es méréshatárra. Mit tapasztalunk, ha növeljük a feszültséget?





Figyelem!

A feszültségmérő műszert állítsuk 2000 mV méréshatárra! Az áram értéke széles skálán fog változni, így a mérési tartományt változtatni kell a kísérlet során. A LED-en nem folyhat át túl nagy áram, mert akkor könnyen károsodhat, az elé kötött ellenállás ettől védi. Ezért a mérés során ne lépjük túl 20 mA értéket!

7.21. Permanens mágnes terének vizsgálata

A kísérlet célja

A mágneses mező és alapjelenségek megismerése, az elektromos mezővel való hasonlóságok és különbségek azonosítása.

Szükséges anyagok, eszközök

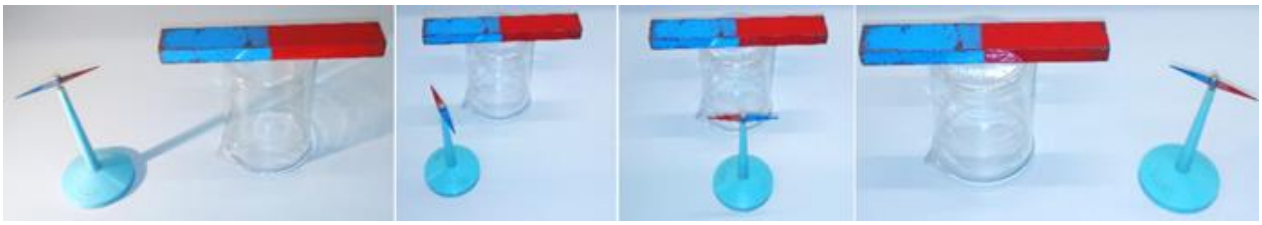
- tűn forgó iránytű
- permanens rúd- és patkómágnes
- állványként üvegpohár vagy fakocka
- fém-rudacska sokaság plexiben
- üveglap
- durva szemcsés vasreszelék
- tölcsér és papírlap (a vasreszelék visszatöltéshez)

a) Permanens (rúd)mágnes mágneses terének vizsgálata iránytűvel

Leírás

Az ábrán látható módon helyezzük el a rúdmágnest az üvegpohárra – így a mágnes optimális magasságba kerül az iránytűvel. Az iránytűt a mágneshez – nem túl – közel mozgassuk a mágnes körül.

- Figyeljük meg az iránytű irányítottságát a különböző helyzetekben. Mit állíthatunk ezekről az irányokról?



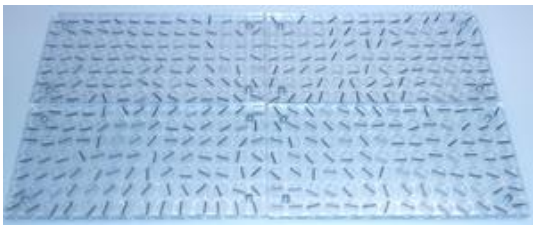
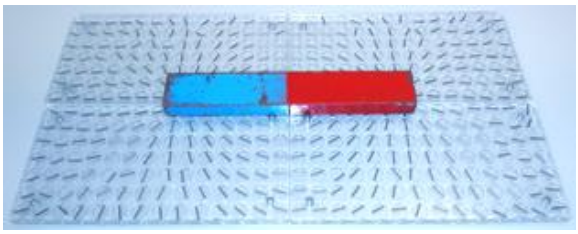
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Melyik az iránytű északi pólusa? Ez alapján mit állíthatunk a Föld mágneses pólusainak elhelyezkedéséről? Készítsünk ábrát a Föld mágneses teréről!

b) Permanens (rúd)mágnes terének vizsgálata plexis fém-rudacska sokasággal

Leírás

A mágneses mező finomabb szemléltetésére használhatjuk a plexi lapok belsejében könnyen elmozduló kis fém-rudacskák sokaságát. Kellő rázogatás után a kis fém rudak rendezetlenül állnak, ám ha – kellően erős – rúdmágnesre fektetjük, a kis fém-rudak a külső mezőnek megfelelően – a súrlódás miatt többé-kevésbé – rendeződnek. Figyeljük meg a mező mágnes feletti képét is! Ismételjük meg a kísérletet patkómágnessel is!

Módszertani kiegészítések

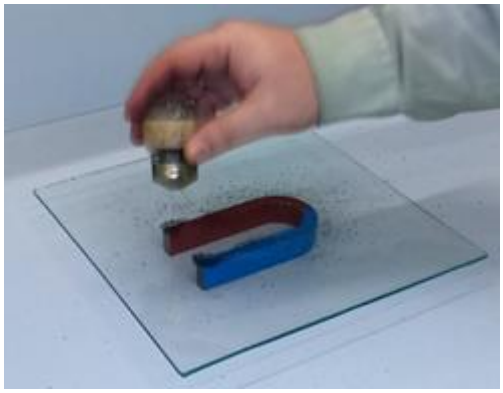
- Számítógépen is szemléltethetjük a mágneses mező tulajdonságait: Phet szimuláció

c) Mágneses erővonalak szemléltetése vasreszelékkel, rúd- és patkómágnes esetén

Leírás

Rúd- vagy patkómágnesre helyezett üveglapra egyenletesen szórt, majd kicsit megrázogatott vasreszelék esetén is szépen kirajzolódnak a mágneses mező indukcióvonalai.

Végezzük el a következő négy összeállítás esetén az indukcióvonalak szemléltetését: rúdmágnes, patkómágnes, két rúdmágnes azonos, valamint ellentétes pólusai egymástól 1-2 cm távolságra. Készítsünk az összeállításokban bemutatott mezőkről ábrákat!



Módszertani kiegészítések

- Fontos, hogy a mágnes és a reszelék végig az üveglap különböző oldalán legyenek, különben nehéz és időigényes a mágnesről a reszeléket leszedegetni. A kísérlet végeztével a vasreszeléket papírlapra érdemes szórni, mert úgy egyszerűen vissza lehet a tárolóba juttatni.

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan meglepő és szemléletes videókat bemutatni: Mágneses tér különleges szemléltetése

7.22. Egyéb kísérletek permanens mágnessel

A kísérletek célja

A mágnesség és a mágneses mező egyéb fontos tulajdonságainak szemléltetése egyszerű kísérletekben.

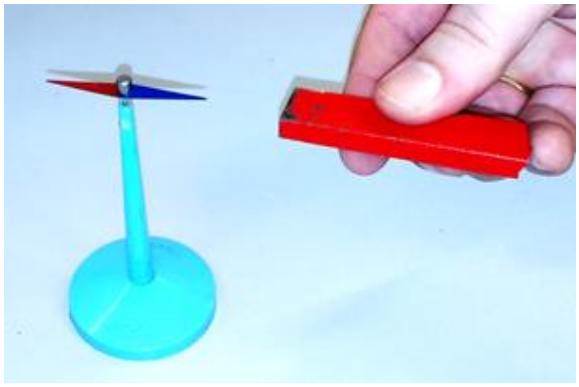
Szükséges eszközök

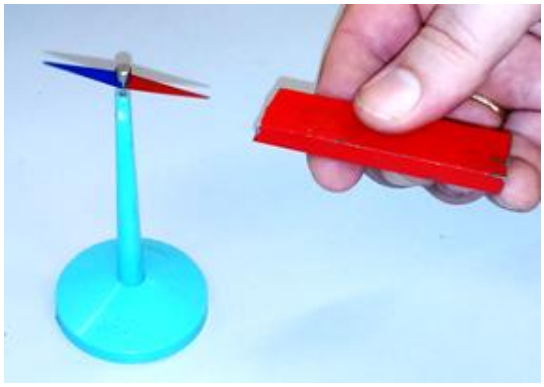
- Törött mágnes, rúdmágnes, iránytű
- Üvegpohár, (ferromágneses) kulcs
- Erős mágnes (esetleg neodímium, külön tárolva, laborvezetőtől kell kérni)
- Fa állvány

a) Mágnes „kettétörése”

Leírás

Rúdmágnes kettétörésével a mágneses pólusokat nem lehet kettéválasztani, hiszen nem létezik mágneses monopólus. A kettétört mágnes darabjait egyenként közelítsük az iránytűhöz, és határozzuk meg a darabok polarizációját!





Módszertani kiegészítések

- Mágnes kettétörését bemutathatjuk felmágnesezett borotvapenge eltörésével vagy akár két rúdmágnes hosszában való összefogásával majd szétválasztásával.

b) Felmágnesezés, mágnesség elvesztése

Leírás

Helyezzünk egy vasból készült (ferromágneses) kulcsot az üvegpohárra, egy iránytű közelébe – az iránytűhöz ne túl közel, hogy ne vonzza jelentősen vasat. Ekkor az iránytű továbbra is észak felé mutat. Ezután a kulcsot elvéve, rajta erős (neodímium) mágnest többször azonos irányban végig húzva, a kulcs atomi mágnesei – bizonyos mértékben – rendeződnek, s így a kulcs felmágneseződik. A kulcsot az üvegpohárra visszahelyezve az iránytű kitér a felmágnesezett kulcs felé. Végül a kulcsot néhányszor erőteljesen ütögessük kemény felületnek – pl. az asztalhoz. Ha ezután visszahelyezzük a kulcsot a pohárra, az iránytű ismét észak felé mutat, mert a kulcs elvesztette mágneses tulajdonságát.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Vázlatpontokba szedve röviden ismertessük a felmágnesezés és a mágnesezettség elvesztésének folyamatát!
- Az ütögetés mellett milyen más hatás következtében veszítheti el mágneses tulajdonságát egy ferromágneses anyag?

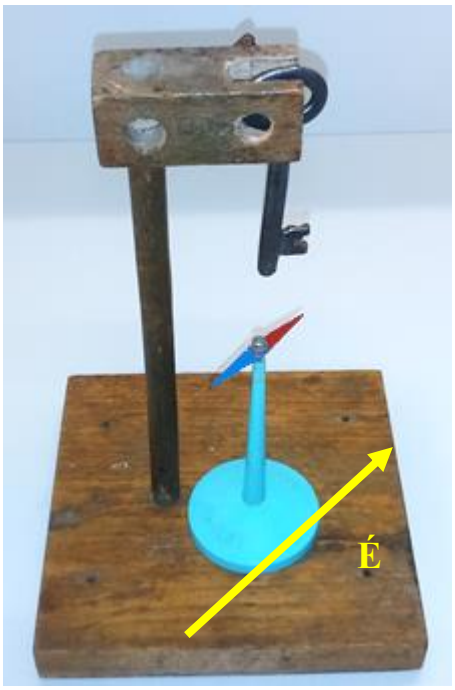
Módszertani kiegészítések

- Figyeljünk oda, hogy nem azzal dönthető el, hogy a kulcs fel van mágnesezve, vagy nincs, hogy az iránytűt vonzza-e. Természetesen a vasat minden esetben vonzza a mágneses iránytű. Még szemléletesebben mutathatjuk be a kulcs mágnesként való viselkedését, ha előbb az egyik, majd a másik oldalát közelítjük az iránytű északi pólusához. Ebben az esetben, ha a kulcs fel van mágnesezve, akkor egyszer taszítás, máskor vonzást tapasztalunk. Ha nincs felmágnesezve, akkor mindig vonzást.

c) Mágneses megosztás

Leírás

Nem mágneses ferromágneses anyagból készült testek akkor is mutathatnak ideiglenes mágneses tulajdonságokat, ha hozzájuk csak közelítünk egy mágnest. Ennek demonstrálására helyezzünk a fa állványba egy nem mágneses kulcsot, s alá – nem túl közel – egy iránytűt, mely ilyenkor észak felé mutat. Ekkor felülről, hogy az iránytűt direkten ne zavarjuk meg jelentősen, közelítsünk lassan kulcshoz egy – nem túl erős – állandó mágnessel. A külső mágneses mező hatására a ferromágneses anyag – jelen esetben a kulcs – atomi mágnesei részben rendeződnek, így a külső mágneses mező jelenlétéig mágnesként viselkedik, így a mágnes a kulcs felé kitér. Amint elvesszük az állandó mágnest a kulcs felől, a mágnes újra északi irányba áll be. A kísérletet végezzük el úgy is, hogy a kulcshoz a permanens mágnes déli, és úgy is, hogy az északi pólusával közelítünk!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsünk ábrát a jelenség magyarázatához!
- Hasonlítsuk össze a jelenséget az elektromos megosztással!

Módszertani kiegészítések

- Szokásos kísérlet még ehhez a jelenséghez kapcsolódóan, hogy a levegőben egy mágnesrúd egyik pólusához vascsavart, majd ehhez láncszerűen újabb csavarokat érintünk (felfüggesztve egymás alá). Ha a legelsőt elválasztjuk a mágnestől, az egész lánc leesik. (Lehet tippelni a diákoknak, hány csavarból álló láncot „bír el” a mágnes.)

7.23. A dia-és a paramágneses tulajdonság demonstrálása.

A kísérlet célja

Dia- és paramágneses anyagok viselkedésének bemutatása inhomogén mágneses térben.

Szükséges anyagok, eszközök

- Zeeman-féle elektromágnes (ld. ábra)
- tápegység
- röpzsinórok
- bifilárisan felfüggesztett bizmut és alumínium golyó közös állványon

Leírás és feladat

Lógassunk a nagy elektromágnes kónuszos pólusai közé (bifilárisan felfüggesztett) kis bizmut golyót (diamágneses anyag), és kapcsoljunk a mágnesre kb. 30 V feszültséget! Figyeljük meg a golyó kilökődését a nagy térerősségű tartományból!

Végezzünk kísérletet paramágneses anyagból (pl. alumínium) készült golyóval is! Függesszük az Al golyót az inhomogén tér kisebb térerősségű tartományába, és kapcsoljuk be a gerjesztő áramot! Figyeljük a golyó mozgását: Először kijjebb lendül, azután behúzódik a nagy térerősségű tartományba. Magyarázzuk meg a jelenséget!

7.24. Az áram mágneses terének kimutatása

A kísérlet célja

Az áram mágnesre gyakorolt hatásának kimutatása, Oersted történelmi kísérletének modellezése

Szükséges anyagok, eszközök

- tápegység (egyenáramú, 4V-os)
- drótközpont, 2 db
- vezetékek
- iránytű, emelvénnyel
- tolóellenállás, 13 Ω-os
- demonstrációs V/A mérő

Leírás

Szorítsuk egy kb. 20-30 cm hosszúságú vezeték végeit egy-egy drótközpontba úgy, hogy a kábel az iránytű magasságában fusson. A vezetéket feszítsük ki és állítsuk be a mágneses észak-déli irány mentén. A befogott vezetéket kapcsoljuk a 4 V-os egyenfeszültségre és kapcsoljunk vele sorba egy árammérőt (maximális, 5 amperes méréshatáron) és egy 13 Ω-os tolóellenállást. A tolóellenállást állítsuk be úgy, hogy az áramerősség 4 A legyen, majd kapcsoljuk ki a tápegységet. Állítsunk a kifeszített vezeték alá, annak közvetlen közelébe iránytűt. Szükség esetén használjunk emelvényt.

Kapcsoljuk be a tápegységet és figyeljük meg, hogy az iránytű kissé kimozdul eredeti helyzetéből! Fordítsuk meg az áram irányát! Figyeljük meg most is az iránytű viselkedését!

Vigyázat!

A 4 A áramerősséget a tolóellenállás minimális állásánál lehet elérni. Ekkor már érzékeny a műszer (kis mozdításra is nagyot ugrik az áramerősség), ezért óvatosan kell beállítani. A 4 A áramerősség igen veszélyes (nagy hőfejlődéssel járhat), fokozott óvatosságot igényel!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Adjunk magyarázatot az iránytű elfordulására! A magyarázat során térjünk ki a kétféle áramirány esetére!
- Miért szükséges viszonylag nagy (kb. 4 A) erősségű áram a kísérlet sikeréhez?
- Miért főleg ki- és bekapcsoláskor érzékelhető a jelenség?
- Mi a kísérlet fizikatörténeti jelentősége?

7.25. Áramjárta vezetők mágneses terének szemléltetése vasreszelékkel

A kísérletek célja

Különböző alakú áramjárta vezetők közül kialakuló mágneses tér szemléltetése.

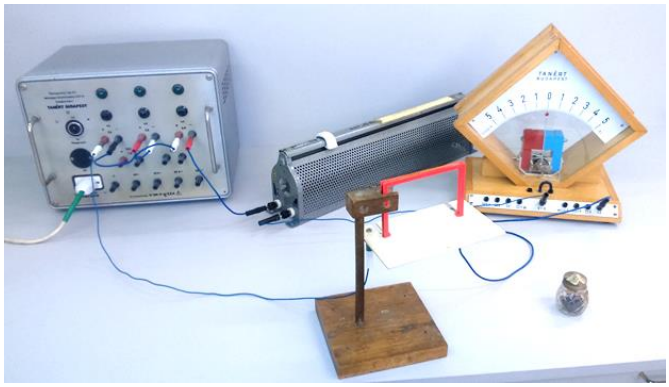
Szükséges eszközök

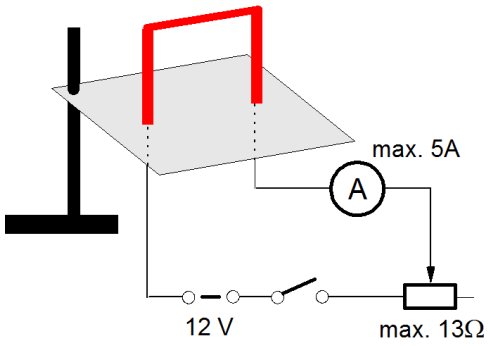
- tápegység (egyenáramú, 12 V-os)
- vezetékek
- tolóellenállás, 13 Ω-os
- állvány
- különböző alakú vezetők: műanyag lapra merőleges szögletes tekercs, hurok és ritka menetű tekercs (ld. ábra)
- 1 db fehér és fekete vezetékekkel (2x48 menet) ellátott tekercs (ún. csévetest) 28 cm hosszúságú és 12 cm átmérőjű, állvánnyal
- vasreszelék, tölcsér, papírlap
- demonstrációs V/A mérő, középállású
- műanyag tálca

a) Áramjárta egyenes vezető mágneses mezőjének demonstrációja

Leírás

A kísérleti összeállításhoz az ábrán látható módon állítsuk össze az áramkört a változtatható feszültségű tápegységből (12V egyenfeszültségen), áramerősségmérő műszerből (maximális, 5 amperes méréshatáron) változtatható tolóellenállásból (eleinte középállásban), és tartóállványba rögzített áramjárta keretből. Amikor a tolóellenállás változtatásával kb. 3 A erősségű áram folyik a vezetőn, szórjunk durva szemcsés vasreszeléket a műanyag lapra. A lap finom ütögetése mellett kialakul a körkörös mintázat, mely jól szemlélteti az egyenes vezető mágneses mezőjét.





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsünk táblai ábrát az áramjárta egyenes vezető mágneses mezőjének bemutatásához!
- Mitől függ a mágneses indukció nagysága az áramjárta egyenes vezető körül? A választ képlet segítségével és annak értelmezésével adjuk meg.
- Hogyan lehet meghatározni egy adott pontban a *B* mágneses indukcióvektor irányát?

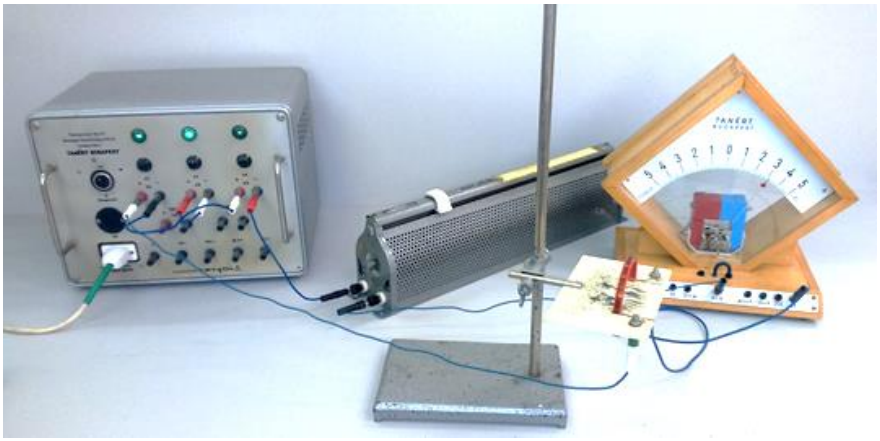
Módszertani kiegészítések

- Az egyenes vezető körül kialakuló mágneses tér szemléltetéséhez veszélyesen nagy erősségű áramot kellene alkalmazni, ezért többszörösen feltekercselt egyenes vezetékszakaszt használunk, mert így jóval kisebb – 2-3 A erősségű – áram is elegendő.
- A műanyag lap alá helyezzünk műanyag tálcát, hogy a vasreszelék ne szóródjon szét az asztalon.

b) Áramjárta vezetőhurok mágneses mezőjének demonstrációja

Leírás

Az előző mérési összeállításban cseréljük le a vezetőkeretet egy hurokra, s szórjuk az előzőleg használt vasreszeléket a hurok körüli műanyag lapra. Figyeljük meg a kirajzolódó vonalakat.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsünk a mágneses mezőt bemutató ábrát!

c) Áramjárta kis menetszámú egyenes tekercs mágneses mezőjének demonstrációja

Leírás

Az előző mérési összeállításban cseréljük le a vezetőkeretet egy kis menetszámú tekercsre, s szórjuk az előzőleg használt vasreszeléket a hurok körüli lapra. Figyeljük meg a kirajzolódó vonalakat.

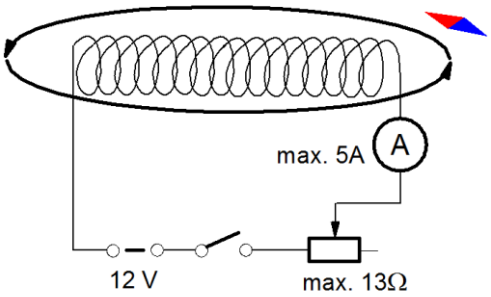
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

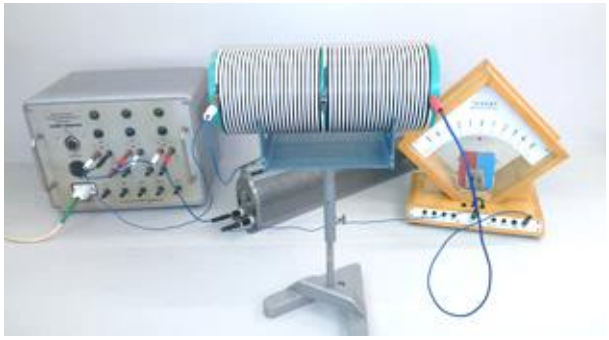
- Készítsünk a mágneses mezőt bemutató ábrát!
- Mitől függ a mágneses indukció nagysága a tekercs belsejében? A választ képlet segítségével és annak értelmezésével adjuk meg.
- Hogyan lehet meghatározni a tekercs mágneses pólusait?

d) Áramjárta tekercs (külső) mágneses terének vizsgálata kis mágnestűvel, mint mérődipóllal

Leírás

Tegyük a képen látható tekercset állványra. A tekercs egyik menetsorát (pl. fehér) kössük az előbb összeállított áramkörre – 12 V egyenfeszültség, 13 Ω tolóellenállás, max. 5 A áramerősségű árammérő –, s állítsuk a tolóellenállást úgy, hogy kb. 3 A áramerősség folyjon a tekercsben. Mozgassuk a tekercs körül a kézben tartott mágnestűt!





Figyelem!

A 3 A áramerősséget néhány másodpercnél hosszabb ideig ne lépjük túl, az 5 A áramerősséget pedig egyáltalán ne.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan lehet növelni a tekercs körüli mágneses mező erősségét?

7.26. Áramjárta tekercs belsejében kialakuló mágneses tér mennyiségi jellemzése

A kísérletek célja

Annak megállapítása, hogy a tekercs belsejében kialakuló (homogén) mágneses mező indukciója hogyan függ a tekercs adataitól (hossz, menetszám, átmérő) és a tekercsen átfolyó áram erősségétől.

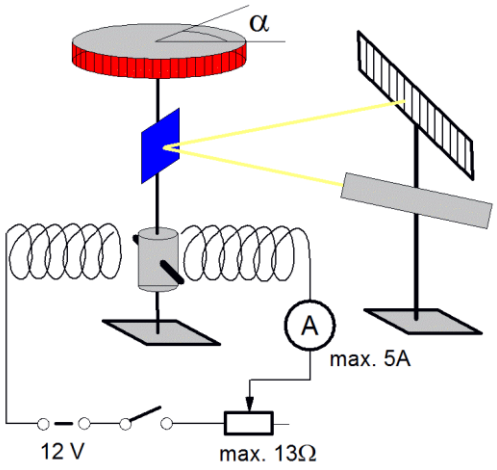
A kérdés eldöntésére négy méréssorozatot végzünk. Minden sorozatban a vizsgált mennyiségen kívül a többi mennyiséget változatlanul tartjuk. A mérésekhez a torziós inga szigetelő befogójába helyezett kis mágneses dipólt (kis rúdmágnest) használunk.

Szükséges eszközök

- torziós inga, kis tükörrel, vizeskádas csillapítással
- áramforrás
- demonstrációs V/A mérő
- vezetékek
- tolóellenállás, 13 Ω
- 12V váltófeszültségű lámpa, skálázott ernyővel állványon
- 2-2 db fehér és fekete vezetékekkel (2x 48 menet) ellátott tekercsek (ún. csévetestek) 28 cm hosszúsággal és 7 vagy 12 cm átmérővel, 2 db állvány (magnetométer-készlet)

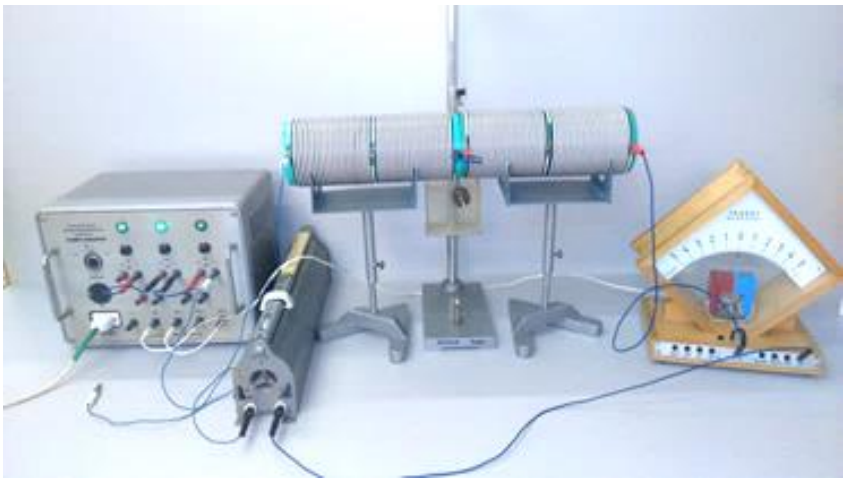
A mérőeszköz beállítása

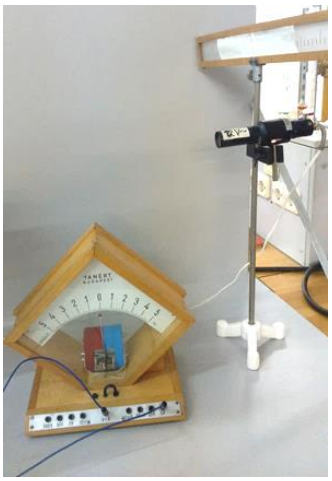
A torziós inga – egyebek mellett – a mágneses tér mágnesdipólra, körvezetőre gyakorolt forgatónyomatékának, egyenes vezetőre gyakorolt erőhatásának kimutatására alkalmas. Sematikus ábrája oldalt látható.



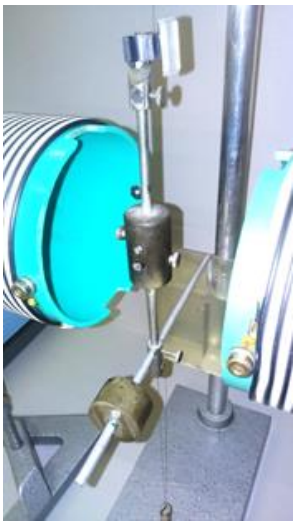
A torziós mérleg elfordulását fénymutatóval figyelhetjük meg: Ehhez a mérlegtől 0,5-1,5 méterre elhelyezett 12 V-os lámpát helyezünk, s a torziósszálra helyezett kis tükröt úgy világítjuk meg, hogy a visszavert fény a rés-kivetítővel – azaz a lámpával – közös állványon található skálázott ernyő közepére essen. A torziós szál felső befogásánál található forgatható dob forgatásával állítsuk a dobot 0 állásba. A mérleg kitéréseit követő lengésének csillapítását a vizesedénybe merülő csillapító lapát biztosítja.

A mágneses tér hatására a fénymutató helyzete megváltozik. A mágneses tér jelenlétében ugyanis a mérődipólra (azaz a kis rúdmágnesekre a torziós szál tartójában, vagy később a torziós szálra illesztett mérőkeretre) ható forgatónyomaték miatt a szál elcsavarodik, és a fénymutató elmozdul. A torziós fej (dob) ellentétes irányú elfordításával visszaállítjuk a kezdő helyzetet, és az elfordítás szögét leolvassuk. A jelenlévő mágneses tér térerőssége ezzel a szöggel arányos.





A készlethez tartozó csévetesteken két egymástól független (egy fehér és egy fekete) egymással párhuzamosan csévélt, 48 menetes tekercs van. A nagyobb tekercsek közepén (a 24-dik menetnél) banánhüvelyes csapolás található. ezzel a megoldással lehet pl. állandó menetszám mellett a tekercs hosszát felezni, vagy állandó tekercshossz mellett a menetszámot megkettőzni.



Ha a tekercs (szolenoid) belsejében térerősséget akarunk mérni, akkor a mérődipólt – vagy a mérőkeretet – a szolenoid belsejébe kell tenni. Ez úgy történik, hogy a dipólt – vagy a keretet – két sorba kötött szolenoid közé fogjuk. A mérődipól ill. a mérőkeret síkjának normálisa – alaphelyzetben – a tekercs tengelyére merőleges legyen. Az áramot a szolenoidra – majd később az áramjárta mérőkeretre – árammérőn és megfelelő tolóellenálláson keresztül sorba kapcsoljuk. A szolenoid tekercs esetén max. 13 Ω, mérőkeret esetén max. 105 Ω ellenállású tolóellenállást használjunk!

a) Az áramerősségtől való függés vizsgálta

Leírás

Toljuk össze a két d = 12 cm átmérőjű csévetestet, készítsünk ezekből pl. a fehér menet felhasználásával egy L = 56 cm hosszú, N = 96 menetes tekercset. Tartsuk ezt a három mennyiséget állandónak.

Kapcsoljunk a tekercsre 5 A-re biztosított, max. 13 Ω ellenállású tolóellenálláson és árammérő műszeren keresztül 12 V egyenfeszültséget. Változtassuk a tekercs I gerjesztőáramát 0,5 A-től fél amperes lépésekben 4 A-ig. A fénymutató elmozdulásai után kompenzáljuk az elfordulást a torziós fej visszafordításával, s olvassuk le ezt a φ szöget. Az adatokat foglaljuk táblázatba és ábrázoljuk az elfordulás szögét az áramerősség függvényében. Milyen összefüggést kapunk?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

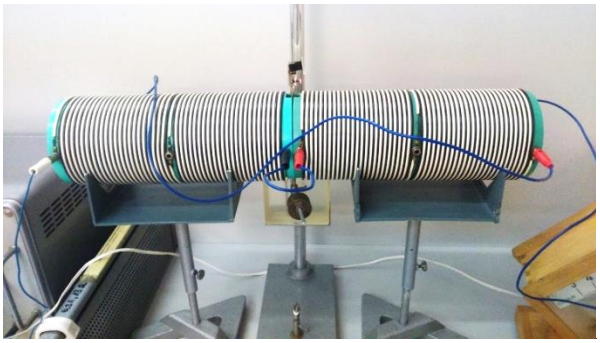
- Hogyan változnának a mérési eredményeink, azonos hosszúságú, de erősebb mérődipólt használtunk volna?

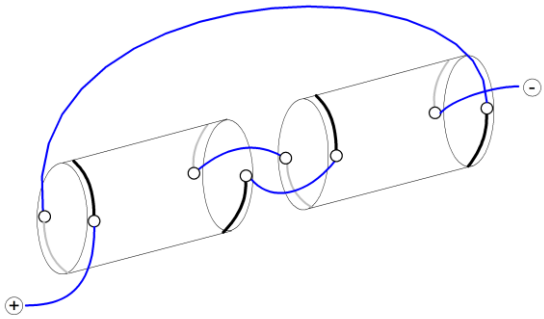
b) A menetszámtól való függés vizsgálata

Leírás

Tartsuk az előző összeállítás átmérő és hosszúság adatát állandónak. A menetek átkötésével duplázzuk meg a menetszámot (N = 192) a következő ábrákon látható módon. Végezzük el az előző pontnak megfelelő mérési sorozatot.

Mérjük meg az elfordulás szögét az átfolyó áramerősség függvényében. Az eredményeket foglaljuk táblázatba, ábrázoljuk, és az előző mérési sorozat eredményeivel vessük össze.





c) A tekercs hosszától való függés vizsgálata

Leírás

Használjuk ismét a két összetolt nagy átmérőjű tekercset. Kössük sorba ezek egyik (pl. csak fehér) menetsorát a tekercsek teljes hosszában, így N = 96, L = 56 cm lesz (ahogy az a) feladatrészben volt). A tolóellenállás segítségével állítsunk be 3 A áramerősséget és mérjük meg a szögelfordulást a szokott módon. A tekercs közép-kivezetéseit (és a fekete menetsort is) használva állítsuk be változatlan (N = 96) menetszám mellett L = 28 cm-re a tekercs hosszát: kb. kétszeres szögelfordulást kapunk. Mindkét vezeték (fehér és fekete) bekötésekor az előzőknek megfelelően járjunk el.

Ellenőrizzük méréssel a mágneses indukció és a menetszám közötti munkahipotézisként használt összefüggést.

d) A tekercs átmérőjétől való függés vizsgálata

Leírás

Az a) feladatot ismételjük meg a kisebb átmérőjű tekercsekkel. Hasonlítsuk össze a mérési eredményeket a korábbi tapasztalatokkal.

Módszertani kiegészítések

- A mérés során nagyon fontos, hogy nem a mágneses tér hatására elforduló torziós szál elfordulási szögét mérjük, hanem a fénymutató 0 pozíciójába való visszaforgatás szögét. Ez nagy különbség, hiszen a mágneses dipól, illetve a mérőkeret elfordulásával a rá ható forgatónyomaték is változik.

7.27. Mérőkeretre ható forgatónyomaték bemutatását szolgáló demonstrációs kísérlet állandó mágneses térben

A kísérletek célja

A mágneses indukció nagyságának meghatározása áramjárta vezetőkeretre ható forgatónyomaték mérése alapján.

Szükséges eszközök

- Torziós inga, kis tükörrel, vizeskádas csillapítással
- áramforrás
- demontstrációs V/A mérő
- vezetékek
- tolóellenállás, 105 Ω
- 12V váltófeszültségű lámpa, skálázott ernyővel állványon
- különböző keresztmetszetű vezetőkeretek
- rúdmágnesek

Mérőkeretek oldalnézetben

Mérőkeretek felülnézetben

A mérőeszköz használata:

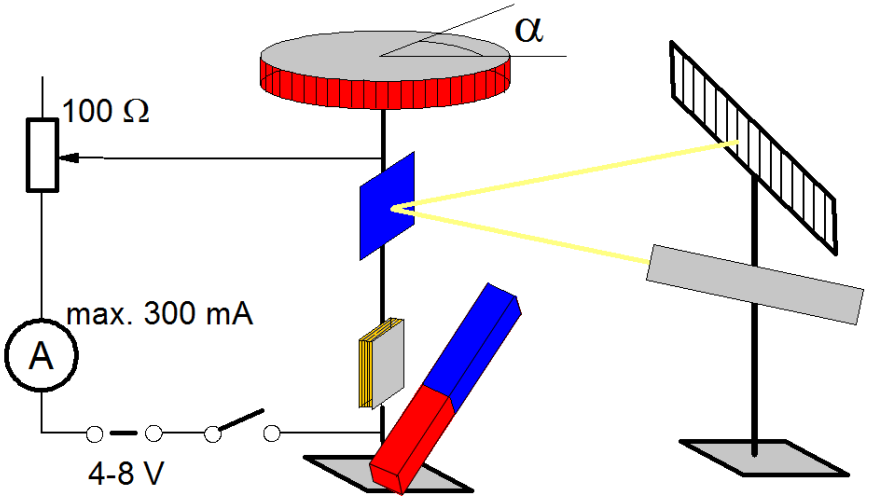
A magnetométer készlethez három különböző keresztmetszetű, n = 150 menetszámú vezető keret tartozik, melyek területeinek aránya rendre 1:2:4. Ezzel a megoldással demonstrálható, hogy a homogén mágneses térbe helyezett, áram által átfolyt mérőkeretre (áramhurokra) ható forgatónyomaték arányos a mágneses térerősséggel, a keret területével, a keret áramának erősségével, illetve, hogy a kapott forgatónyomaték függ a mező indukcióvonalainak és a keret normálisának egymással bezárt szögétől. A bemutatást az egyszerűség kedvéért érdemes permanens rúdmágnesekkel végezni, melyeket kb. állandó 5 cm távolságra tartsuk a keret síkjával párhuzamosan – így a keret körüli kapott mágneses mező „elfogadható” közelítéssel

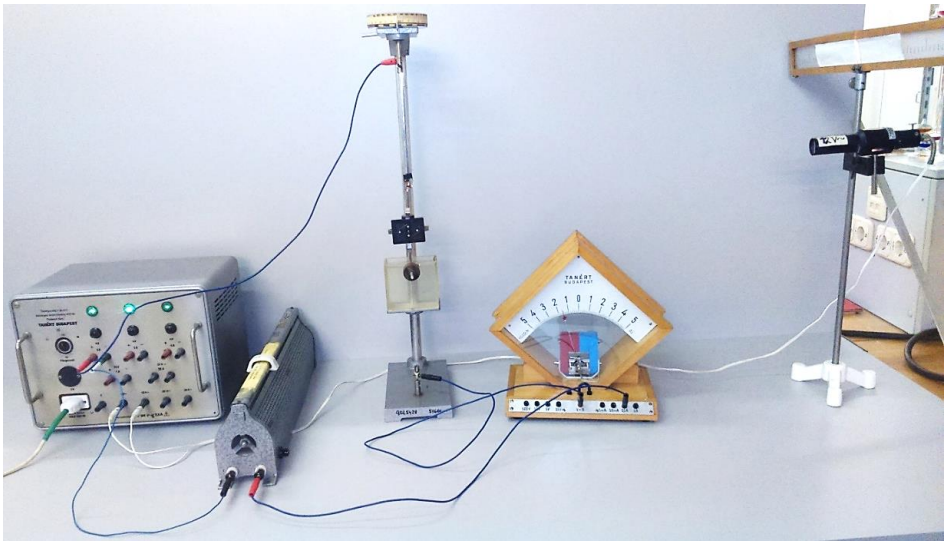
homogénnek tekinthető. Természetesen a 7.25-ös kísérletben bemutatott csévetestek közé is tehető.

a) A mérőkeretben folyó áram erősségétől való függés vizsgálata

Leírás

Állítsuk össze az alsó ábráknak megfelelő kísérleti összeállítást. A torziós szál foglalatába helyezzük be a legnagyobb mérőkeretet. Kössük sorba egy változtatható ellenállással, valamint egy áramerősségmérővel és kapcsoljuk rájuk 4 V feszültséget. A bekapcsolt kísérleti összeállításban fokozatosan változtassuk a tolóellenállás segítségével a mérőkereten átfolyó áram erősségét. A permanens rúdmágnest – esetleg két erősen összenyomott rúdmágnest – kb. azonos helyzetben tartva figyeljük meg a fénycsík elmozdulását!





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Készítsünk értelmező ábrát a mérőkeretre ható forgatónyomaték magyarázatához. (A mágneses mezőt tekintsük homogénnek.)

b) A mérőkeret területétől való függés vizsgálata.

Leírás

Az előző kísérletet végezzük el a két másik mérőkeret esetén is! Jegyezzük fel mindhárom esetben a tapasztalt kitérés hozzávetőleges értékét egy tetszőlegesen választott pl. 200 mA áramerősség és állandóan tartott mágnes-mérőkeret távolság esetén.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mit tapasztalunk, ha a mágnest a mérőkeretek normálisával párhuzamosan közelítjük az áramjárta mérőkerethez?

Módszertani kiegészítések

- Ez a kísérlet technikailag nehéz, de nagyon fontos az elvégzése és megértése. Fontosságát az adja, hogy ez alapján tudunk mérési utasítást adni a mágneses tér jellemzésére. A mérőkeret nem más, mint egy magnetométer, és a mágneses indukcióvektor nagyságát a magnetométerre ható maximális forgatónyomaték és a mágneses nyomatékának hányadosaként definiálhatjuk. Hasonlóan, ahogy az elektromos térerősséget az egységnyi pozitív próbatöltésre ható erővel definiáltuk. Kísérletünkben pont a forgatónyomatékot mérjük, így a tekercs adataiból (áramerősség, menetszám, keresztmetszet) a mágneses indukcióvektor meghatározható.

7.28. A mágneses tér áramra gyakorolt hatásának kimutatása

A kísérlet célja

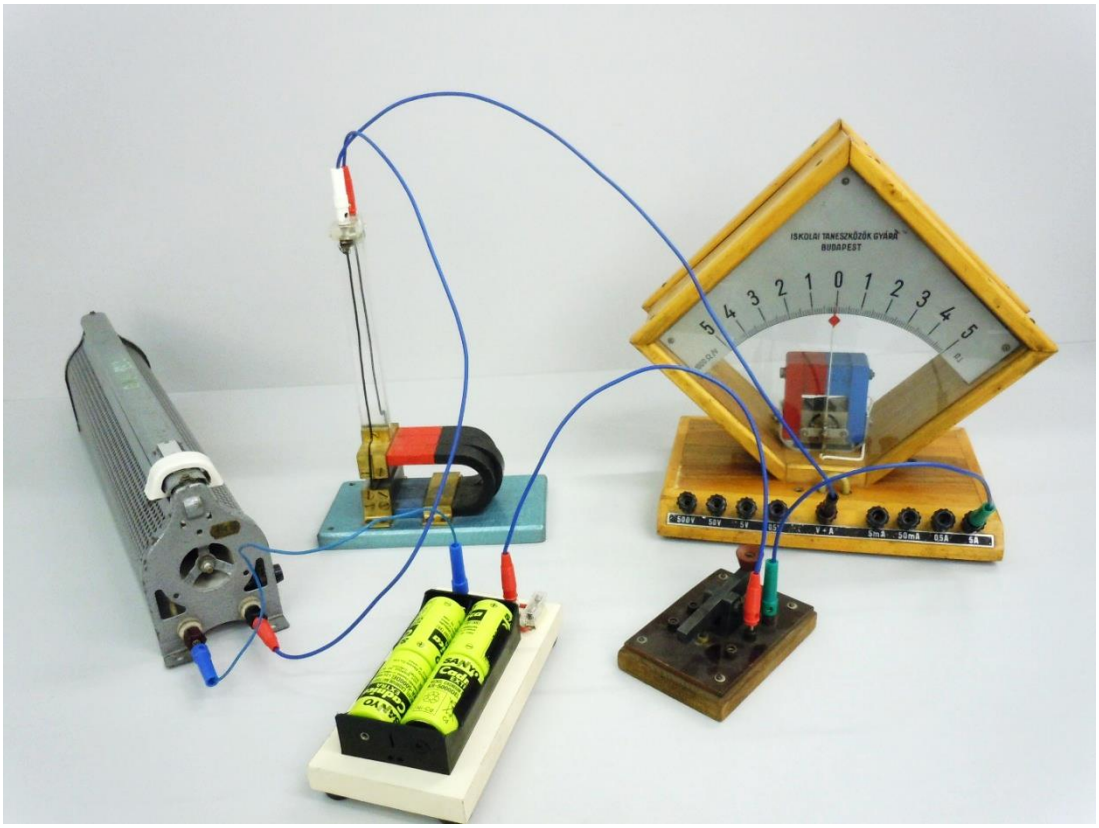
A mágneses tér áramra gyakorolt hatásának kimutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- Patkómágnes, szárai közé ingaszerűen belógatott drótkengyellel
- Röpzsinórok
- Tolóellenállás, 13 Ω
- Akkumulátor-telep vagy 4,5 V-os zsebtelep
- Demonstrációs V/A mérő, középállású
- Morse-kapcsoló

Leírás

A patkómágnes szárai közé belógatott drótkengyellel kapcsoljunk sorosan egy 13 Ω-os tolóellenállást, egy 5 A méréshatárra állított középállású árammérőt és egy Morse-kapcsolót, majd kössük 4,5 V-os zsebtelephez! A tolóellenállást állítsuk be úgy, hogy az áramkörben 4 A áram folyjon. Figyeljük meg a kapcsoló zárásakor a drótkengyel viselkedését! Fordítsuk meg az áram irányát! Hasonlítsuk össze a tapasztalatot az előzővel!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért nagyobb a drótkengyel kezdeti kilendülése, mint ahol később nyugalomban marad?

7.29. A mozgási indukció jelenségének bemutatása

A kísérlet célja

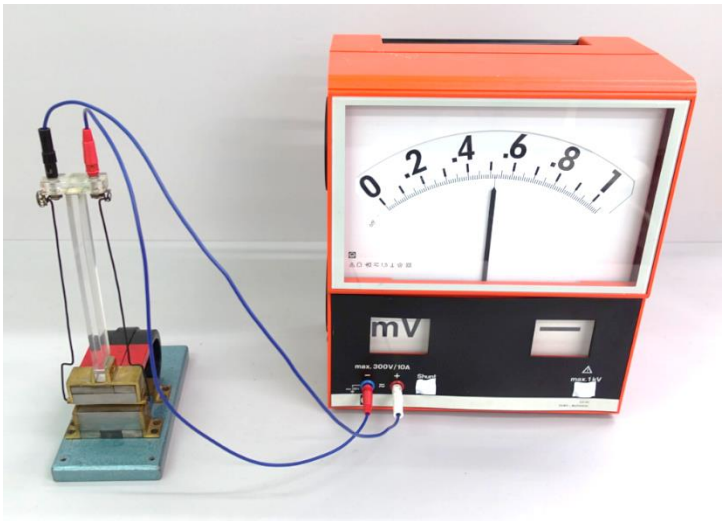
A mozgási indukció jelenségének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- patkómágnes, szárai közé ingaszerűen belógatott drótkengyellel
- röpzsinórok
- demonstrációs V/A mérő, Leybold

Leírás és feladatok

A patkómágnes szárai közé belógatott drótkengyelt kapcsoljuk Leybold-féle demonstrációs mérőműszerre. Az egységnek válasszunk mV-ot, a skálát rakjuk 1-re, a mutatót forgassuk be középállásig. Térítsük ki a kengyelt a mágnesbe befelé, majd engedjük el! Figyeljük meg az feszültségmérő mutatójának viselkedését! Figyeljük meg, hogyan függ össze a mutató mozgásának iránya a kengyel mozgásának irányával! Hasonlítsuk össze az előző kísérlet tapasztalataival! Adjunk magyarázatot a műszer mutatójának viselkedésére!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hol alkalmazzák a mozgási indukció jelenségét a gyakorlatban?

7.30. A mozgási indukció mennyiségi viszonyainak érzékeltetése

A kísérlet célja

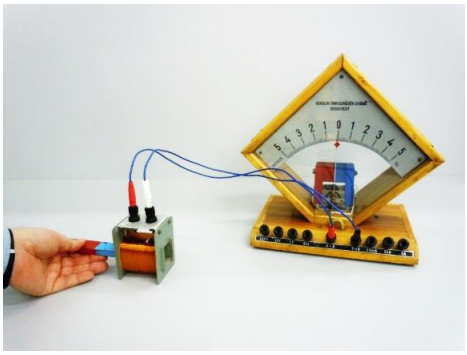
A mozgási indukció mennyiségi viszonyainak érzékeltetése

Szükséges anyagok, eszközök

- tekercsek: 300 menetes, 600 menetes, 1200 menetes
- rúdmágnesek, 2 db
- röpzsinórok
- demonstrációs V/A mérő, középállású

Leírás és feladatok

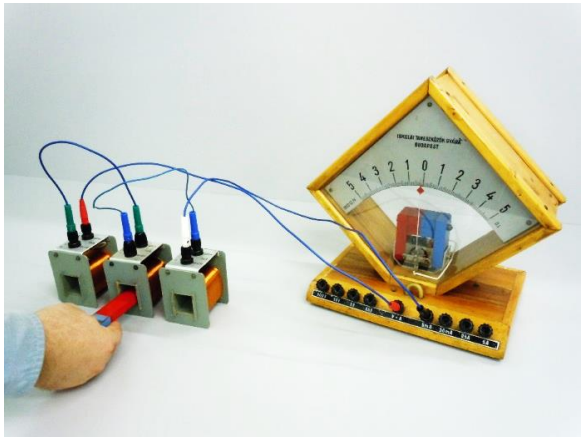
Az 1200 menetes tekercset kapcsoljuk a legkisebb méréshatárra állított középállású árammérőhöz! Először mutassuk be ezzel a kísérleti összeállítással is a mozgási indukció jelenségét! Ehhez egy db rúdmágnest használva végezzük el az alábbi kísérleteket! Figyeljük meg közben az árammérő mutatóját!

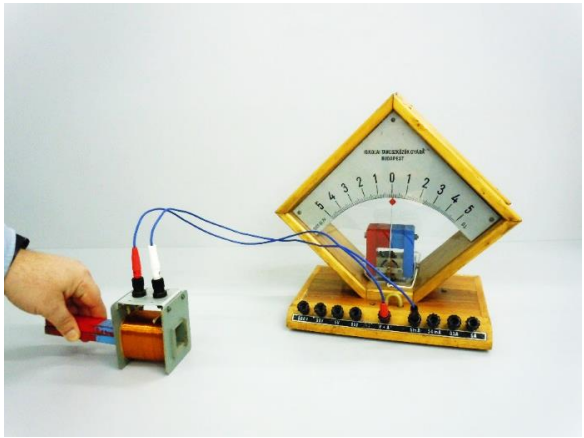


a. A rúdmágnes kék felét a tekercsbe toljuk.
b. A rúdmágnes kék felét a tekercsből kihúzzuk.
c. A rúdmágnes piros felét a tekercsbe toljuk, majd kihúzzuk onnan.
d. A rúdmágnest nyugalomban tartva a tekercset húzzuk rá, majd róla le.
e. A rúdmágnest a tekercsbe tesszük, és együtt mozgatjuk őket.

Ezután a mozgási indukció mennyiségi viszonyainak érzékeltetésére végezzük el az alábbi kísérleteket! Figyeljük meg közben az árammérő mutatóját!

a. A rúdmágnes egyik felét lassan toljuk be a tekercsbe! Toljuk be ezután nagy sebességgel a mágnest a tekercsbe!
b. Toljuk be a rúdmágnes egyik felét a tekercsbe! Fogjunk össze ezután két mágnest, azonos polaritással és toljuk ezeket együtt, az előzővel megegyező sebességgel a tekercsbe!
c. Kapcsoljuk sorba a 300 menetes, a 600 menetes és az 1200 menetes tekercset az árammérőhöz! Mindegyik belsejébe sorban egymás után toljuk be a rúdmágnes egyik felét, mindegyik esetben azonos sebességgel!





7.31. A nyugalmi indukció jelenségének bemutatása

A kísérlet célja

A nyugalmi indukció jelenségének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- U alakú vasmag, záró vasmaggal
- tekercs, 600 menetes, 2 db
- röpzsinórok
- demonstrációs V/A mérő, középállású
- Morse-kapcsoló
- 4,5 V-os zsebtelep

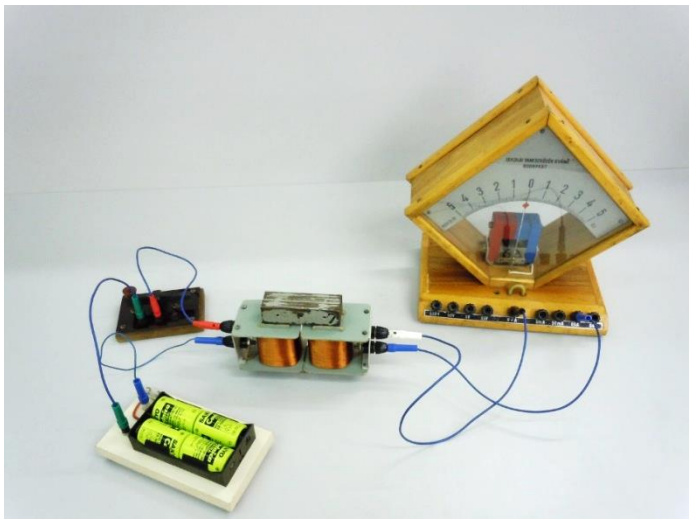
Leírás és feladatok

A két tekercset húzzuk az U alakú vasmagra, tegyük fel a záró-vasmagot is! Az egyik tekercshez kössük az árammérőt megfelelő méréshatárral. Ez az áramforrás nélküli áramköre a kísérleti összeállításnak tehát megegyezik azzal, amit a mozgási indukciónál használtunk. Az árammérő méréshatárát kezdetben állítsuk a maximális 5 A-re, majd csökkenthető, ha nem látszik jól az effektus. A másik tekercset egy Morse-kapcsoló közbeiktatásával kössük a telephez! Így két áramkört hoztunk létre, melyek nincsenek összeköttetésben.

Végezzük el az alábbi műveleteket és figyeljük meg a műszer mutatójának viselkedését!

a. A kapcsolót zárjuk
b. A kapcsolót tartósan (de csak néhány másodpercre!) zárva tartjuk
c. A kapcsolót nyitjuk
d. A kapcsolót tartósan nyitva tartjuk

Adjon magyarázatot a műszer mutatójának viselkedésére!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hol alkalmazzák a nyugalmi indukció jelenségét a gyakorlatban?
- A kísérleti összeállításból és tapasztalatokból kiindulva hogyan vezetné be a diákok számára a transzformátor működését?

Módszertani kiegészítések

- A mozgási és nyugalmi indukció jelensége elméleti szinten nagyon különböző, de gyakorlati vonatkozásaiban hasonló. Mindkettő leegyszerűsíthető úgy, hogy változó mágneses térben feszültség indukálódik, de míg a mozgási indukció jól elképzelhető, hiszen a Lorentz-erő alapján lehet értelmezni, a nyugalmi indukció teljesen újszerű fogalmak megértését kívánja. Teljes mélységében a nyugalmi indukció középiskolás szinten nem tárgyalható. A gyakorlati hasonlóságoknak tudható be, hogy a kísérletek során sem válik szét teljesen a két fogalom. Vegyük példának a 7.29-es kísérletet, mely

a mozgási indukció mennyiségi viszonyait mutatja be. Ez valóban mozgási indukció? Hiszen a vezető keret áll és a mágneses tér változik, de persze ha csak az egymáshoz relatív elmozdulásukat nézzük, akkor mondhatjuk, hogy a mágnes áll és a vezető mozog a terében (csak technikai részlet, hogy egyszerűbb a mágnest mozgatni). A 7.30-as kísérletben is egy álló tekercsben hozunk létre változó mágneses mezőt. Miben lenne más, ha ezt a változó mágneses mezőt egy rúdmágnes mozgatásával érnénk el? Konklúzióként megfogalmazhatjuk, hogy a kísérletekben sajnos nem tudjuk elhatárolni a két fogalmat. Mindenképpen elméleti szinten kell jól körül határolnunk a mozgási és nyugalmi indukciót. Kísérletgyűjteményünkben az alapján osztottuk az egyes kísérleteket a mozgási és nyugalmi indukció kategóriájába, hogy hagyományosan az oktatásban (azaz a fizikatankönyvekben) hogyan szerepelnek, még akkor is, ha a fent felvázolt indokok miatt ez a besorolás véleményes.

7.32. Lenz-törvény szemléltetése ún. abroncs-készülékkel

A kísérlet célja

A Lenz-törvény egyszerű szemléltetése

Szükséges anyagok, eszközök

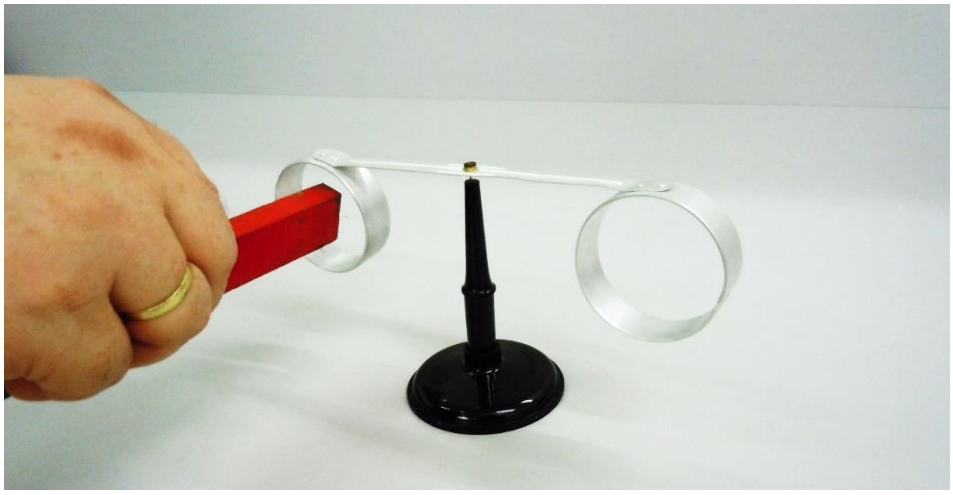
- iránytűtalp
- Lenz-törvény szemléltetésére való kettős abroncs (egy zárt és egy nyitott karika)

Leírás

Helyezzük az iránytűtalp tűjére a kettős abroncsot! Figyeljük meg, hogy az egyik egy „folytonos”, zárt karika, a másik pedig „felhasított”, nyitott!

Feladatok

- Egy rúdmágnes egyik pólusát toljuk be a zárt karikába!
- Húzzuk ki ezt a pólust a zárt karikából!
- Toljuk be a mágnest a nyitott karikába, majd húzzuk ki belőle!
- Fordítsuk meg a mágnest, és a másik pólusával is végezzük el a fenti kísérleteket!



Módszertani kiegészítések

- Amennyiben a zárt karika esetén sem tapasztalunk változást, használjunk erősebb mágnest vagy két mágnest, azonos pólusaikkal összefogva!
- Megoldás az is, ha gyorsabban toljuk be vagy húzzuk ki a mágnest (ld. mozgási indukció mennyiségi viszonyai). Ilyenkor azonban vigyázzunk, nehogy a légáramlat hozzon létre effektust!
- A kettős abroncs házilag is elkészíthető. A készítésnél fontos szempont, hogy nem mágnesezhető és kis sűrűségű anyagból készüljön! Az alumínium erre megfelelő. Alumíniumlemezből vagy akár üdítős (sörös) dobozból is elkészíthetjük. Az alátámasztásnál figyeljünk arra, hogy a kettős abroncs vízszintes legyen és könnyen el tudjon fordulni!
- A Lenz-törvényt nemcsak kísérleti eszközökkel lehet bevezetni. A törvény logikusan következik az energiamegmaradásból is. Érdemes végiggondolni a diákokkal, hogyan.

7.33. Lenz törvényének szemléltetése csőben leeső mágnessel

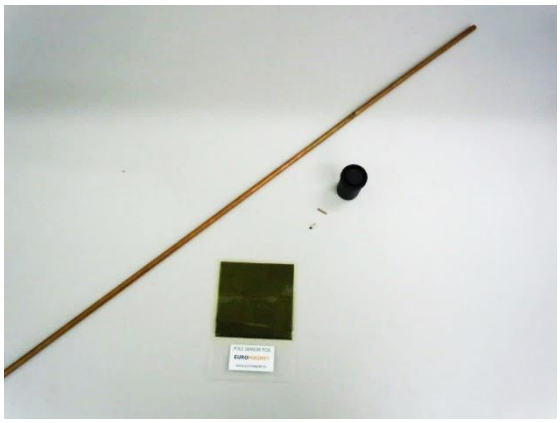
A kísérlet célja

Lenz törvényének egyszerű, látványos szemléltetése

Szükséges anyagok, eszközök

- rézcső
- neodímium mágnes (akkora, hogy a csőbe beleférjen)
- vasdarab (akkora, hogy a csőbe beleférjen)
- mágneses tér kimutatására szolgáló lap

Leírás



Tegyünk az asztalra egy vékony szivacsot vagy összehajtogatott rongyot! Állítsuk fölé függőlegesen a rézrudat, az asztaltól kb. 10 cm-re! Ejtsük bele a mágnest és mérjük meg az esési időt! Végezzük el ezután a kísérletet a vasdarabbal is! Hasonlítsuk össze az esési időket! Kövessük végig a mágnes leesését a mágneses tér kimutatására szolgáló lappal!

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet bemutatható úgy is, hogy ugyanazt a mágnest először műanyag csőben, majd réz- vagy alumíniumcsőben ejtjük le.
- A kísérlet fordítottja is elvégezhető: egy függőleges, alul rögzített vékony farúdra helyezzük a mágnest. A rézcsövet felülről ráhúzzuk, majd hirtelen mozdulattal függőlegesen fölfelé felrántjuk a csövet. A mágnest így fel tudjuk emelni!

7.34. A Lenz-törvényt demonstráló Thomson-féle gyűrűkísérlet bemutatása

A kísérlet célja

Lenz törvényének látványos szemléltetése

Szükséges anyagok, eszközök

- hosszú, egyenes, függőleges vasmag
- nagy menetszámú tekercs
- alumíniumkarika
- rézkarika
- elektromos hálózathoz csatlakozó tápkábel, banándugó kivezetéssel
- röpzsinórok
- kapcsoló

Leírás

A vasmagra húzzuk rá előbb a nagy menetszámú tekercset, majd tegyük rá a könnyű alumíniumkarikát! Kössük a tekercset egy kapcsolóval ellátott hosszabbítóhoz, mely hálózathoz van csatlakoztatva! Kapcsoljuk be a kapcsolót **egy pillanatra**, majd **rögtön** kapcsoljuk ki! Az alumíniumkarika hirtelen felugrik (kicsit fel is melegszik). Kapjuk el a levegőben, hogy leérkezve ne sérüljön, és ne guruljon el!

Feladat

- Magyarázza meg a kísérleti tapasztalatokat (a karika felemelkedését és felmelegedését)!
- Végezze el a kísérletet a rézgyűrűvel is! Majd végezze el a kísérletet úgy, hogy egymásra teszi a két karikát. Előbb alulra az alumíniumot és rá a rezet, majd fordítva! Magyarázza meg a tapasztalatokat!

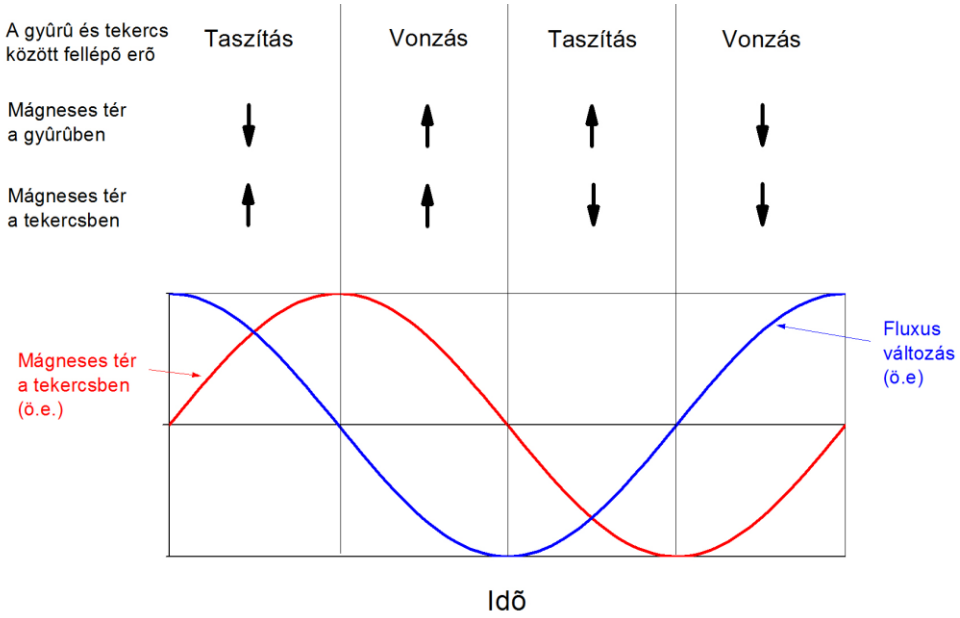
Módszertani kiegészítések

- Középiskolákban és kísérleti bemutatókon gyakran látható ez a kísérlet. Legtöbbször érintésvédelmileg aggályos módon csak banándugós kábellel csatlakoztatják a tekercset a konnektorhoz. A laboron használható eszköz teljesen hétköznapi elemekből van összerakva, de jól látható, hogy minden csatlakozás rögzített, és gondosan szigetelt. Javasoljuk a Thompson-ágyús kísérletet minden esetben ilyen gondosan előkészítve bemutatni!

- Ha a tekercs ellenállása nem elég nagy, akkor könnyen leverheti az elektromos biztosítékot. Érdemes sokmenetes tekerccsel kísérletezni.

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan meglepő és szemléletes videókat bemutatni: A Thomson-ágyú hőkamerával

- A jó gyakorlatok fejezetben már említésre került, hogy ennek a kísérletnek a magyarázata általában egy elnagyolást tartalmaz. Klasszikus magyarázata a kísérleti tapasztalatnak, hogy Lenz-törvény értelmében a gyűrűben indukált áram iránya olyan, hogy mágneses hatásával akadályozza az őt létrehozó hatást. Tehát ellentétes a tekercs mágneses terével, így a taszítás miatt felrepül. A kísérletet azonban váltóárammal végezzük, így negyed periódusonként változik a tekercs és gyűrű között fellépő erő iránya, tehát átlagosan 0 erőnek kellene közöttük hatni, ahogy a következő ábrán látható



Ha utánaszámolunk, akkor kiderül, hogy a gyűrű induktivitása eredményez egy fázistolást a gyűrű mágneses tere és a tekercs mágneses tere között, így lehet egy felfelé ható eredő erő. Természetesen ezzel a magyarázattal csak a tehetséggondozás keretei között foglalkozhatunk. Emellett az első, klasszikus magyarázat teljesen elfogadható középiskolai szinten, hiszen tényleg ezzel kapcsolatos a magyarázat még akkor is, ha nem teljes.

7.35. Az örvényáramok hatásának bemutatása Waltenhofen-féle ingával

A kísérlet célja

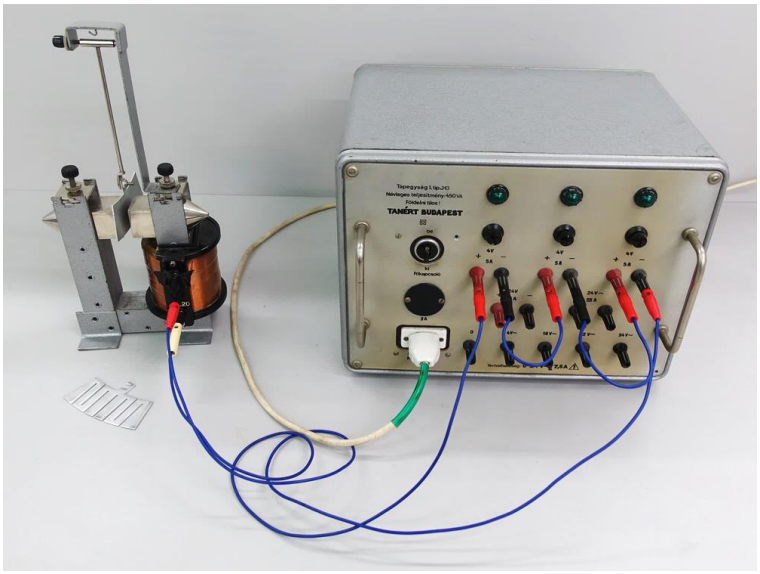
Az örvényáramok hatásának bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- Waltenhofen-féle inga (ld. ábra)
- folytonos és fésűszerűen befűrészelt lengőtest
- tápegység (Tanért 1)
- röpzsinórok

Leírás és feladatok

Állítsuk össze az ingát az alkotókból, és a tekercsre kössünk 12 V-os, fix egyenfeszültséget. Használjuk először lengőtestként a folytonos lemezt! Lendítsük meg, figyeljük 1-2 perióduson keresztül az inga természetes csillapodását, majd kapcsoljuk be a tápegységet. Figyeljük meg, hogy (jó beállítás esetén) a lemez szinte azonnal megáll!
Végezzük el ezután a kísérletet a fésűszerűen befűrészelt lemezzel is! Figyeljük meg, hogy ez a lemez csak lényegesen később, néhány lengés után áll meg!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hol van gyakorlati jelentősége az örvényáramoknak?

7.36. Az örvényáramok „kézzelfogható” hatásának érzékelése elektromágnes pólusai közé suhintott fémlemezzel

A kísérlet célja

Az örvényáramok „kézzelfogható” hatásának érzékelése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Zeeman-féle elektromágnes (ld. ábra)
- tápegység
- röpzsinórok
- alumíniumlemez (kb. tenyérnyi) nyéllel, illetve anélkül

Leírás

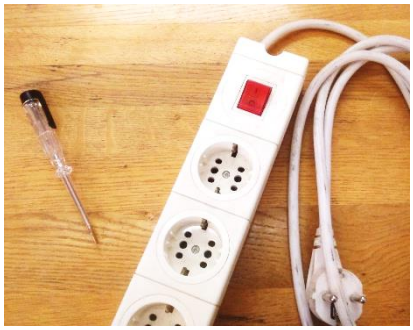
Mozgassuk az elektromágnes pólusai között az alumíniumlemezt! Kapcsoljunk a Zeeman-féle elektromágnesre kb. 30 V egyenfeszültséget a piros gomb megnyomásával! A lemez mozgatása érzékelhető módon nehezebb lesz, ellenállást érzünk.
A kapcsoló benyomott állapotában ejtsük be az alumíniumlemezt a mágnespofák közé! A szabadesésnél lényegesen lassabban esik le.

7.37. Hétköznapi elektromosságtan

A kísérletek célja

Hétköznapokban gyakran előforduló elektromos eszközök megismerése

a) Fázis, fázisceruza



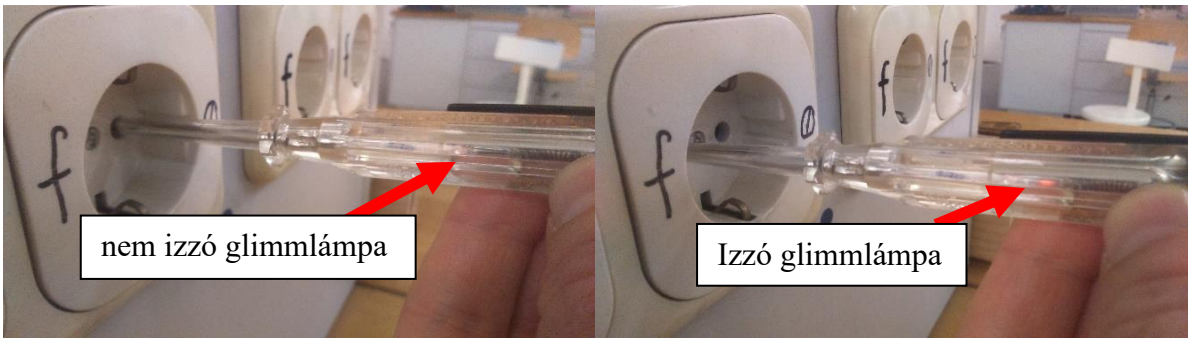
Szükséges anyagok, eszközök

- 230 V konnektor
- Fázisceruza
- Hálózati elosztó kapcsolóval (hosszabbító vezetékkel)

Leírás

Egy konnektor két kivezetése („lyuk”) közül csak az egyik van feszültség alatt, ez az ún. fázisvezeték. A másik vezetékben a földhöz képest nincs feszültség, ezt nulla vezetéknek nevezzük. A manapság használt konnektorokban van még földelésérintkező is, amely hibás működés esetén elvezeti a fölös töltéseket, így védve a felhasználót.

Hogy egy konnektor feszültség alatt van-e, egy ún. fázisceruzával ellenőrizhető. Az eszköz első látásra csavarhúzónak tűnik, ám műanyag nyelébe egy nagy ellenállást és miniatűr gázkisülési csövet (ún. glimmlámpa) építettek, sorba kötve. A soros tag egyik vége a csavarhúzó résszel, másik vége a nyél végén kiképzett fém lezárócsavarral érintkezik. A csavarhúzós részt a 230 V-hoz (a fázishoz) érintve és a fém zárócsavart kezünkkel érintve, testünk csekély átvezetését kihasználva a hálózati feszültség egy része (kb. 100V) megjelent a glimmlámpa két vége között, s az vöröses színben felfénylik.



Vigyázat!

Fázisceruzával sajnos sosem lehetünk teljesen biztosak, hogy a vizsgált eszköz tényleg feszültségmentes. Előfordulhat, hogy az eszközön és a vizsgáló személyen valamilyen okból nem folyik át az áram a földbe, ekkor a glimmlámpa nem világít. A konnektorba mindig csak a fázisceruzát dugja bele, más tárgyat ne, és figyeljen arra, hogy a másik végét mérésnél megérintse, de más fém részhez ne érjen!

Feladatok

- Ellenőrizze egy fázisceruza segítségével, hogy melyik lyuk a fázis egy tetszőleges helyiségben. Ellenőrizzük, hogy szabványos-e! Szokás szerint (igényes munka esetén) bal oldalon kell a fázisnak lenni.
- Egy kapcsolós elosztót dugjon be egy ismert fázis-nulla elosztású konnektorba. Vizsgálja meg az elosztót ki- és bekapcsolt állapotban a fázisceruzával! Miután megvizsgálta az elosztót, fordítsa meg annak dugalját a konnektorban és ismételje meg a vizsgálatot! Mit állíthatunk az elosztó kapcsolójának működéséről: mindkét szálat (fázis és nulla) megszakítja a kapcsoló, vagy csak az egyiket a kettő közül?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hibás működés esetén miért a földelésen folyik inkább az áram, mint egy emberen keresztül? Adjon középiskolai szintű választ!
- Mekkora a fázis és a nulla között mérhető maximális feszültség értéke? Mit jelent a konnektorban levő váltófeszültség effektív értéke?
- Milyen anyagból készült cipőt viselve fordulhat elő, hogy a fázisceruza hibásan nem jelez feszültséget?
- Normál működés esetén maximum mekkora áram folyik át rajtunk, ha a glimmlámpa felvillan? (Az előtét ellenállás értéke 250kΩ, a vizsgáló személy ellenállásától eltekinthetünk.)
- Hogyan működik az ún. érintés nélküli fázisceruza?

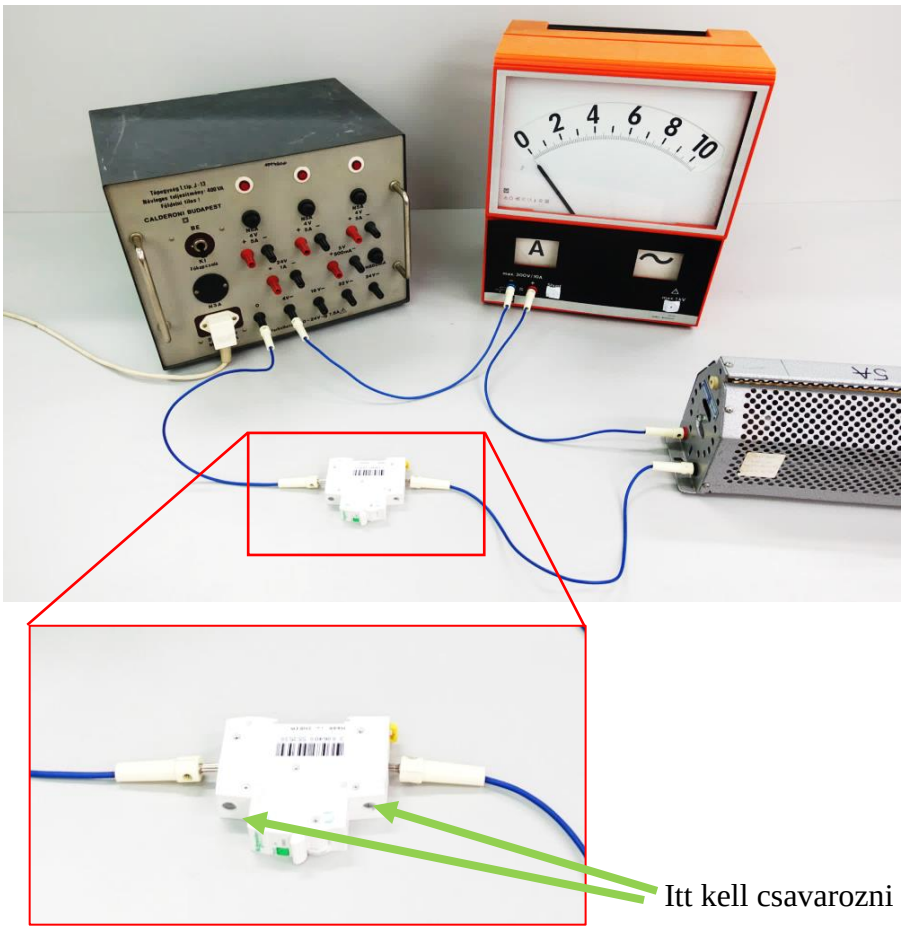
b) Kismegszakító

Szükséges eszközök

- Tápegység (nagy, kb. 5A áramerősséget bíró)
- 2A névleges maximális áramerősségű kismegszakító (C típusú)
- Vezetékek
- 10A méréshatárú áramerősségmérő
- Változtatható ellenállás (11 ohm, 5A)

Leírás

Készítsünk egy soros kapcsolást az alábbi elemekből: tápegység (4 V váltófeszültséggel), 11 ohmos tolóellenállás (középállásban), kismegszakító, áramerősségmérő műszer (10 A méréshatás, váltóáram), a következő ábrának megfelelően.



A fázisceruzával csavarozza be a kábelek banándugóját a kismegszakító érintkező csatlakozójába. Fokozatosan, lassan állítsa a tolóellenállás értékét egyre kisebbre, így növelve az átfolyó áram erősségét.

Feladat

- Állítsa össze az áramkört és növelje lassan (néha 5-10 másodperces szünetet tartva), a készüléken az áramerősséget 2A → 3A → 4A stb. értékekre, míg a kismegszakító megszakítja az áramkört. Mekkora áramerősségnél oldott ki a megszakító?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A kísérletben elvégzett lassú áramerősség-növelésekor az áram mely hatására, illetve a kismegszakító mely alkatrésze hatására kapcsolt le a biztosíték?
- Magyarázza meg, miért lehetséges, hogy a kísérlet egyenárammal is működne az amúgy váltóáramra tervezett kismegszakító esetében!

Módszertani kiegészítések

- Bár mindennap számtalanszor használjuk az elektromos berendezéseinket, túl sokszor nem gondolunk utána működésüknek. Emellett – fizikatanárként – hasznosnak tűnik, hogy a hálózatban bekövetkező esetleges hiba esetére, főleg a lehetséges balesetek elkerülése céljából, rendelkezzünk a szükséges minimális alapismeretekkel. Ezen kísérletek egyik célja annak bemutatása, hogy egyszerű eszközökkel, minimális

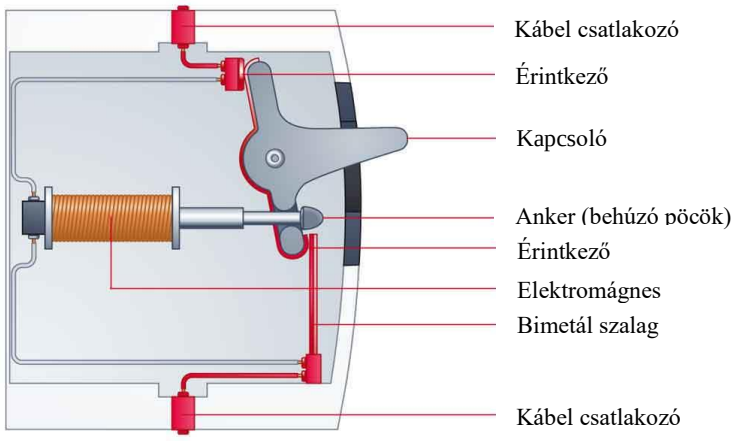
ismeretekkel és kellő odafigyeléssel teljesen biztonságosan dolgozhatunk váltóárammal a fizikaórákon is.

- Viszonylag kis – kb. 30 mA áramerősségű – áramok is már nagyon veszélyesek lehetnek. A biztonságos használathoz éppen ezért a már alacsony áramerősségű szivárgó áram esetén is biztonsági kioldó, ún. FI-relé (áramvédelmi relé) használata javasolt.

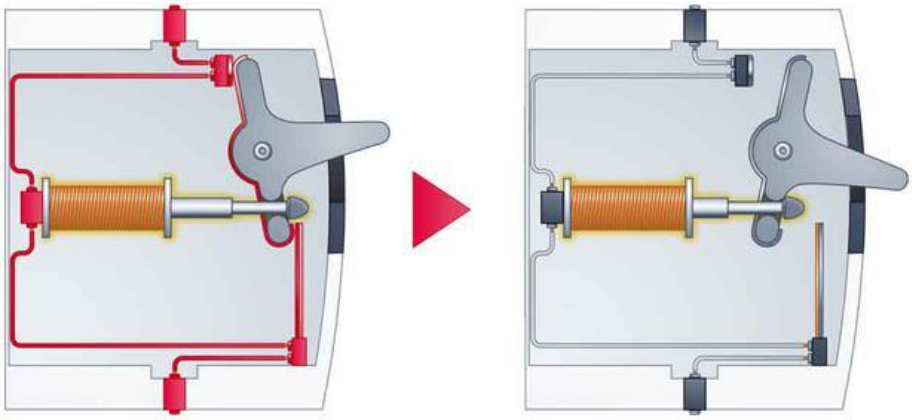
Azonban nem szivárgó áramok (pl. rövidzárak) is előállhatnak, melyek jelentős (15+ A) áramerősségűek, így puszta hőtermelésükkel is veszélyesek a falban futó vezetékekre és csatlakozásaikra, vagy a hibásan működő fogyasztókra, s okozhatnak rossz esetben akár tüzet is. A túl nagy áramok ellen védekezhetünk olvadó biztosítékokkal, melyekben egy vékony vezetőszál túl nagy áram esetén egyszerűen elolvad, így szakítva meg az áramkört. Az ilyen biztosítékok használata egyszerű, de költséges lehet, és persze időigényes is, ha épp nincs elérhető tartalék biztosíték.

Éppen ezért a háztartásokban elterjedtebb az ún. automata biztosíték vagy kismegszakító, melyek túláram esetén leoldanak, de ha megszűntetjük a túláram okát – pl. mikrohullámú sütő, vízforraló és mosógép együttes vagy egy hibás, zárlatos eszköz (rövidzár) használatát –, akkor újra visszakapcsolható az áramkör.

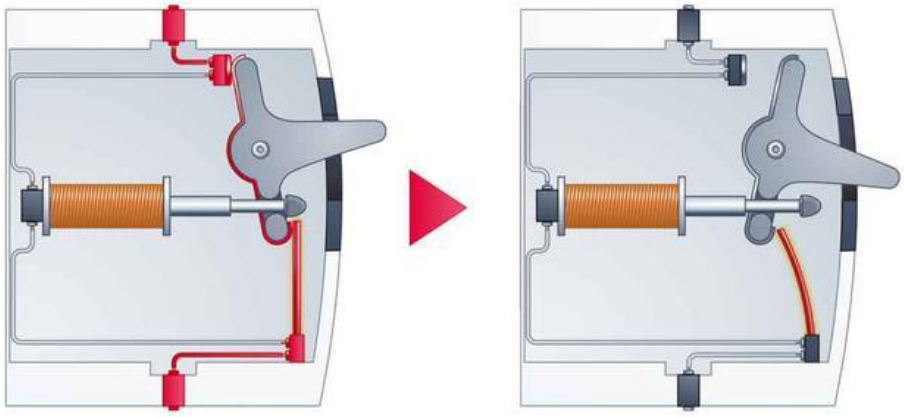
A kismegszakító működési elvét az alábbi ábrákon szemléltethetjük. Kismegszakító felépítése: a villanyórából jövő fázist a kábel csatlakozókra kell kötni, majd onnan továbbvezetni a háztartás felé. A kapcsolóval zárjuk az áramkört (azaz helyezzük áram alá a fogyasztókat), mely túláram esetén nyitja az áramkört.



Rövidzár / zárlatos fogyasztó esetén nagyon nagy áram (30+ A) folyhat. Ilyenkor a kapcsolóval párhuzamosan kötött áramkörben levő elektromágnes magához vonzza az ankert, ami a kapcsolót elforgatva nyitja az áramkört.



Túlterhelés esetén (típustól függően 5A, 10A 15A esetén) a bimetál szalag felmelegszik, elgörbül, elforgatja a kapcsolót, mely nyitja az áramkört.



Megjegyzés:

A kismegszakítók különböző karakterisztikákkal rendelkeznek. Például egy „B” karakterisztikával rendelkező túláram-védelmi készülék esetében a késleltetés nélküli elektromágneses gyors kioldó a névleges áram 3-5-szörösére van állítva. Vagyis egy B10-es kismegszakító esetében azt fogja jelenteni, hogy a késleltetés nélküli pillanatkioldó 30A és 50A közötti tartományban fog megszólalni. Jellemzően ohm-os fogyasztók túláram védelmére alkalmazhatóak, mint például elektromos tűzhely, hőtárolós vízmelegítő vagy elektromos fűtőkészülékek stb. Egy „C” karakterisztikával rendelkező kismegszakító késleltetés nélküli gyors kioldója a névleges áram érték 5-10-szerese, melyeket olyan esetben szoktak bekötni, mikor a fogyasztó normál működés esetén is rövid ideig nagy áramot használ (pl. indukciós tűzhely).

7.38. A transzformátor áttételi viszonyainak mérése

A kísérlet célja

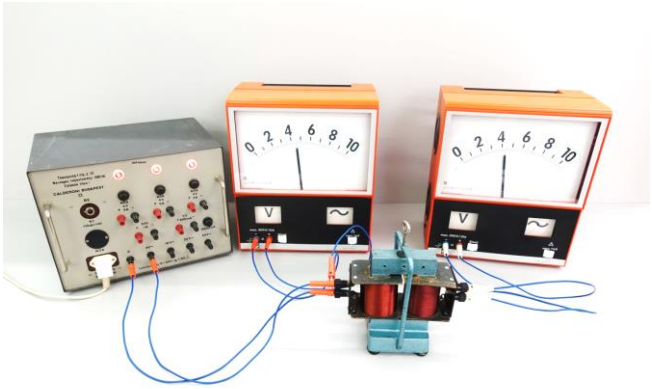
Az elektromos energia nagy távolságokba történő eljuttatásához nélkülözhetetlen az elektromos áram feszültségének változtatása, transzformálása. Ennek a fontos jelenségnek a bemutatása és a transzformátor modelljének megismertetése a kísérlet célja.

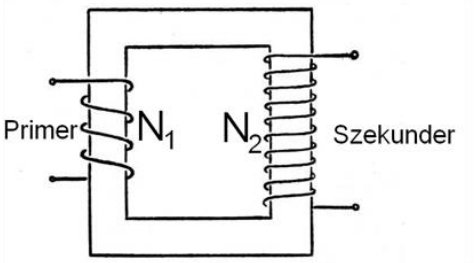
Szükséges anyagok, eszközök

- Tápegység
- Közös vasmagos tekercsek (menetszámok: 300, 600, 1200)
- Kábelek
- Feszültségmérő műszer

Leírás

Helyezzünk közös vasmagra iskolai tekercseket, az ábrán látható módon, így megépítve egy transzformátor modellt. A primer tekercsre kapcsoljunk 4 V váltófeszültséget! Változtassuk a primer (N_1) és szekunder (N_2) tekercs menetszámát a táblázatban látható módon és mérjük a szekunder tekercs feszültségét! Érdemes a bemeneti feszültséget is mérni.





Feladatok

- Méréseink alapján töltsük ki a táblázatot!

N_1	300	300	300	600
N_2	300	600	1200	300
U (V)				

- Milyen törvényszerűséget lehet felfedezni az adatok alapján?
- Mi történik, ha a vasmag felső záró darabját eltávolítjuk, és úgy végezzük el a mérést? Magyarázzuk a jelenséget!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mit nevezünk ideális transzformátornak?
- Hogyan változik az áramerősség a menetszámok arányában?
- Hogyan befolyásolja az áramerősség a fogyasztón termelődött hőteljesítményt?
- Miért jó az áramot magas feszültségen szállítani nagy távolságokon?

Módszertani kiegészítések

- A diákoknak sokszor nem tudják, hogy mennyire meghatározó az életükben a transzformátor, sőt gyakran észre sem veszik, hogy nap, mint nap elmennek mellettük. Erre érdemes felhívni a figyelmet, hiszen az elektromos technológia alapvető része. Transzformátor látható a lakótelepek környékén egy nagy fémkonténerben, vagy egy különálló házban, vidéken a villanypózna tetején. Talán a diákok már gondolkoztak is azon, hogy miért van radiátor a villanypózna tetején (melyek persze a transzformátor hűtőbordái). Viccesen meg lehet jegyezni, hogy ha a lakótelep közepén van egy különálló, ablaktalan, "családi ház", akkor abban lakik a transzformátor. Búgó hangjáról is meg lehet ismerni a transzformátort (a búgás okának tárgyalása is érdekes lehet).

7.39. Bekapcsolási és kikapcsolási jelenség bemutatása induktív tagot tartalmazó áramkörben

a) A bekapcsolási jelenség demonstrálása párhuzamosan kapcsolt ohmos, ill. induktív tagot tartalmazó ágak zsebizzóinak megfigyelésével

A kísérlet célja

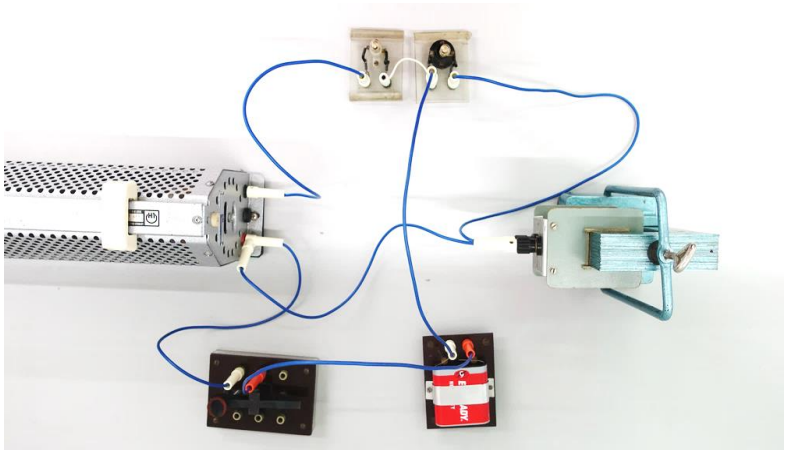
Bekapcsolási jelenségek bemutatása induktív tagot tartalmazó áramkörben.

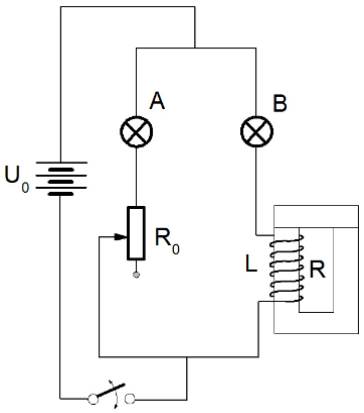
Szükséges anyagok, eszközök

- 105 ohmos tolóellenállás
- Vasmagos tekercs (N = 1200, illetve két 600 menetes)
- Zseblámpa izzók
- Morse-kapcsoló
- Zsebtelep
- Kábelek

Leírás

Az induktivitást tartalmazó áramkörben az áram a feszültségforrás bekapcsolása után késéssel éri el stacionárius értékét. A jelenség bemutatására alkalmas összeállítást és kapcsolást az ábra mutatja.



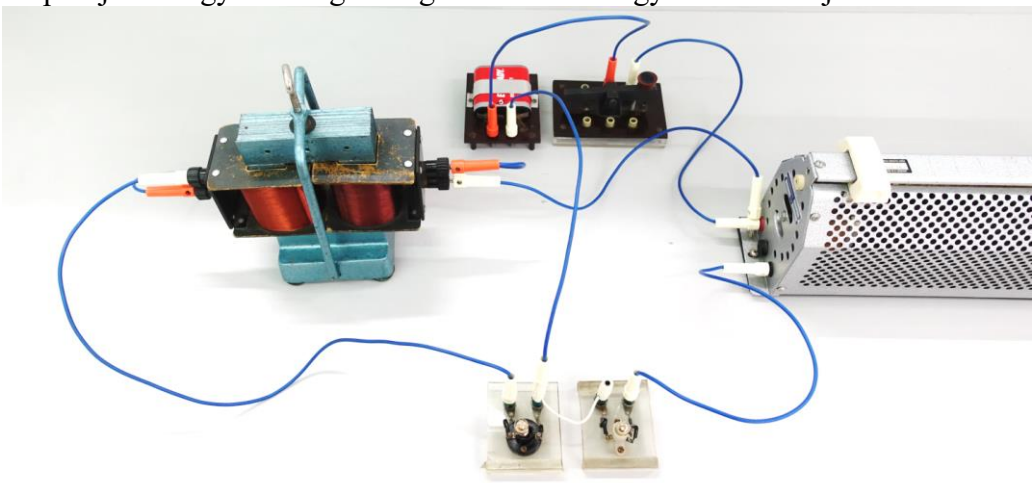


Célszerű adatok: U_0 = 4,5 V (zsebelem) 'A' és 'B' egy-egy 2,5 V, 0,3 A névleges értékű zseblámpaizzó, L egy 1200 menetes (kb. R = 18 Ω ellenállású) tekercs zárt vasmagon, R_0 = 105 ohmos tolóellenállás. Zárjuk az áramkört, és várjuk meg míg mindkét lámpa felgyullad. Szabályozzuk be a tolóellenállást úgy, hogy az „A” lámpa ugyanolyan fényesen világítson, mint a „B”!

Feladat

- Nyomjuk le a K kapcsolót! Az 'A' lámpa azonnal felizzik, a 'B' lámpa csak késéssel veszi fel az állandó áramerősséget.
- Vegyük le a záróvasat, és így ismételjük meg a kísérletet! A 'B' lámpa "késése" alig vehető észre.
- EXTRA FELADAT: Cseréljük ki az 1200 menetes tekercset -közös vasmagra húzott- két sorba kötött 600 menetesre. Ha a tekercseket azonos csévélési irányban sikerült sorba kötni, akkor (a kapcsolót lenyomva) az áram késése jól látható. Ha a tekercseket

ellentétes polaritással kötjük sorba, akkor mágneses terük lerontja egymást, nincs fluxusváltozás, nincs (késleltető) indukciós feszültség. (Ez egy modell-kísérlet az önindukció-mentes bifiláris tekercselésre.) Az alábbi ábrán a párhuzamos kapcsolás csomópontjainak egy lehetséges megvalósítását kinagyítva is mutatják.



Módszertani kiegészítések

- A kísérlet sikere érdekében a kapcsolási elemek paramétereit össze kell hangolni. Ezért az itt ajánlott értékektől esetenként el kell térni. Valószínű, hogy konkrét esetben a két 600 menetes tekercs ohmos ellenállásának összege jóval kisebb, mint egyetlen 1200 menetesé. Ekkor a 4,5 V hatására az ajánlott paraméterű 'B' izzó túl erős fénnyel világít, és az áramkésés a szem számára nem lesz jól követhető. A jelenség akkor látható jól, ha az izzók -stacionárius állapotukban- csak kis fényerővel világítanak. Az optimális áramerősség beállítására szabályozható áramforrást használhatnánk, vagy a főágba újabb (változtatható) ellenállást iktathatnánk, de ez csak bonyolítaná az amúgy sem egyszerű összeállítást.
- Az ohmikus ellenállás után az első komolyabb absztrakciós lépés az áram erősségét befolyásoló áramköri elemek közül a tekercs induktív ellenállása. Az induktív ellenállást természetesen magyarázhatjuk a Faraday-féle indukciós és a Lenz-féle törvénnyel, ám tényleges hatását érdemes kísérletekkel szemléltetni is.

b) A kikapcsolási jelenség demonstrálása vasmagos tekerccsel párhuzamosan kapcsolt glimmlámpa felvillanásával (FIGYELEM: A kísérlet veszélyes lehet!)

A kísérlet célja

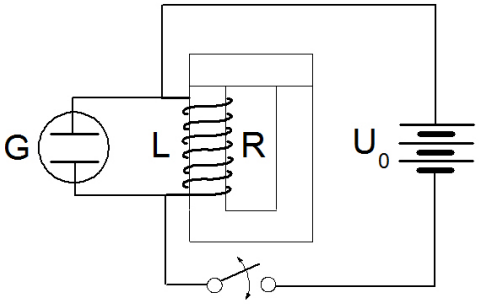
A változó mágneses fluxus hatására létrejött indukció egyszerűen demonstrálható az alábbi kísérletben, melynek különlegessége, hogy 4,5 V egyenfeszültséget használva, akár több száz volt feszültséget is létrehozhatunk!

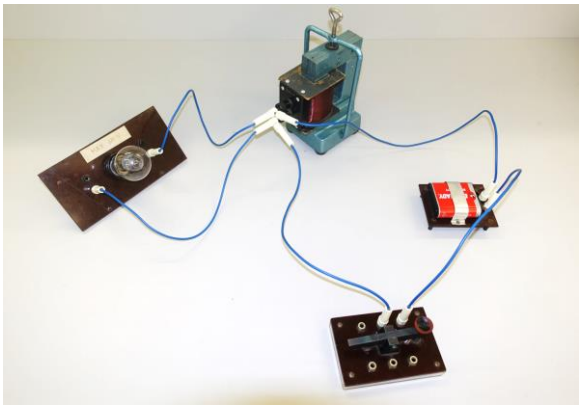
Szükséges eszközök

- 4,5 V feszültségű zsebtelep (laposelem)
- Vasmagos tekercs (600 menetes)
- Kapcsoló, Glimmlámpa, Kábelek

Leírás

Állítsuk össze az ábrán és kapcsolási rajzon látható áramkört! U= 4,5 V (zsebelem), 600 menetes tekercs L zárt vasmagon, G ún. "kosaras", 110V-ra méretezett glimmlámpa (ködfénylámpa). Nyomjuk le a kapcsolót! A glimmlámpa nem "ég", hiszen a telep 4,5V feszültsége jóval a glimm gyújtófeszültsége (kb. 80 V) alatt van. Kis várakozás után - amikor a stacionárius állapot már beállt- szakítsuk meg hirtelen az áramkört! A glimmlámpa - az áramerősség gyors csökkenése miatt indukálódó (a gyújtófeszültséget meghaladó) önindukciós feszültség hatására felvillan.





Figyelem!

Mivel a kikapcsoláskor keletkezett feszültség nagy lehet – még ha áramerőssége kicsi is – megcsípheti a figyelmetlen demonstrátort. A keletkezett áram „csípés” inkább csak ijedtséget okozhat, de abból is lehetnek balesetek!

Módszertani kiegészítések

- Azt, hogy a glimmlámpa gyújtófeszültsége mekkora, megmérhetnénk a 230 Voltos hálózat segítségével. Érintésvédelmi okból azonban elégedjünk meg annyival, hogy a glimmlámpát az iskolai tápegység 24V-os kimenetére kötve, bemutatjuk, hogy a gyújtófeszültség 24V-nál nagyobb.

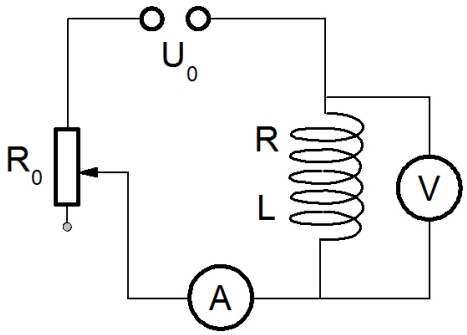
7.40. Tekercs (1200 menetes iskolai transzformátortekercs) önindukciós együtthatójának számolása ohmos ellenállásának és impedanciájának mért adataiból

A kísérlet célja

Az induktív ellenállást könnyen mérhetjük, konkrét értéket rendelve adott esetben ehhez a nem könnyű fogalomhoz.

Szükséges anyagok, eszközök

- Tápegység (4V váltófeszültséget adó)
- 105 ohmos tolóellenállás
- Tekercs (N = 1200)
- Vasmag
- Áram- és feszültségmérő műszer
- Kábelek
- Zsebtelep (4,5 V)



Leírás

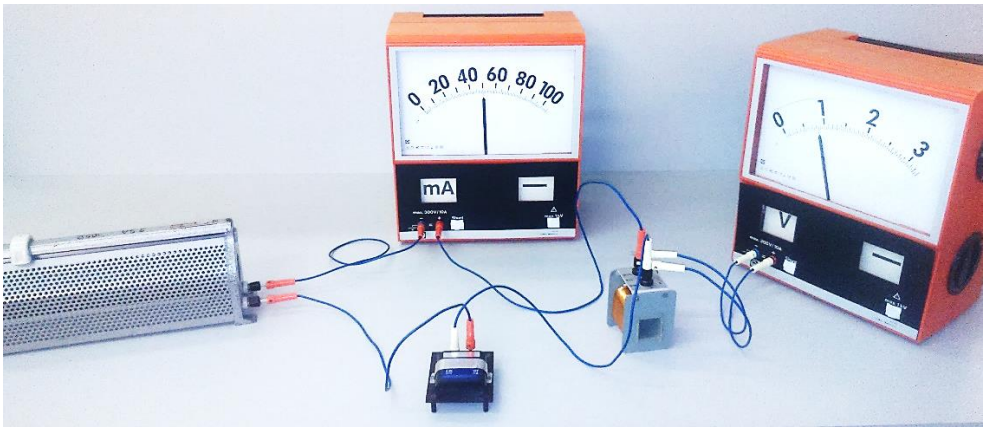
Az R ohmikus ellenállású, L önindukciós együtthatójú tekercs az ω körfrekvenciájú (szinuszosan) váltakozó árammal szemben

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2}$$

impedanciát (váltóáramú ellenállást) képvisel. Ha tehát megmérjük a tekercs ohmikus ellenállását és ismert (pl. az 50 Hz hálózati) frekvenciához tartozó impedanciáját, akkor önindukciós együtthatóját (induktivitását) a fenti formulából kiszámíthatjuk. A kísérletekben a fenti kapcsolási rajzot fogjuk használni, csak a feszültségforrást és a tekercset cseréljük ki a mérési utasításnak megfelelően, valamint a mérőműszerek üzemmódját módosítjuk.

1) Tekercs ohmos ellenállása

A tekercs ohmos ellenállását (R) a fenti kapcsolás szerinti összeállításban célszerű mérni. Az áramerősséget egy 105 ohmos (2,5 A-rel terhelhető) tolóellenállással szabályozzuk! A tekercsen átfolyó I áram ill. a tekercsen eső U feszültség mérésére állítsuk a műszereket (egyenfeszültség üzemmódban!) 100 mA ill. 3 V méréshatárra, feszültségforrásként egy 4,5 V-os zsebelemet használjunk (lásd alsó ábra).



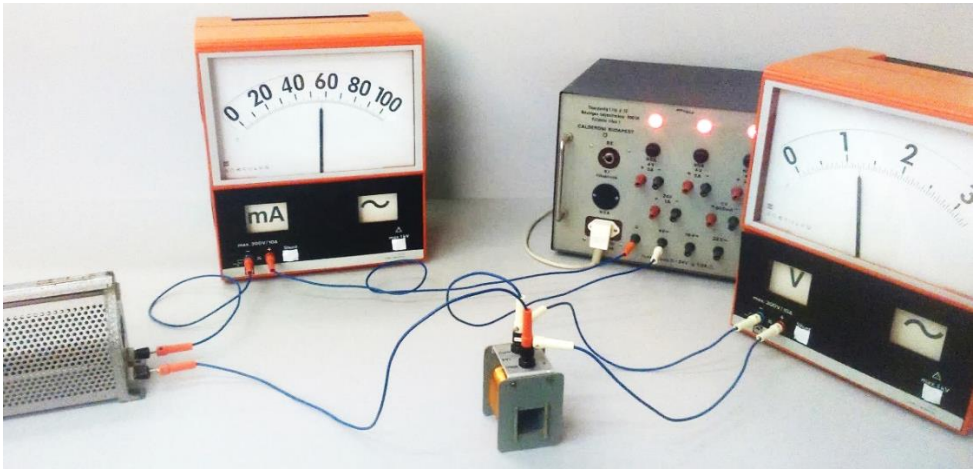
Állítsunk be a tolóellenállás beállításával 0 és 4 V között 5 különböző áram, ill. feszültség értéket! Foglaljuk ezeket táblázatba és számítsuk ki a tekercs ohmos ellenállását!

$U_{=}$ (V)					
$I_{=}$ (mA)					
R (Ω)					

Mért átlagos R érték: _____Ω (pontosabb a mérés, ha a feszültséget ábrázoljuk az áramerősség függvényében és az egyenest illesztünk az adatokra)

2) Tekercs impedanciájának mérése

Az impedancia mérésére az előbbi összeállítást kissé módosítjuk: a zsebelemet ismert frekvenciájú (50 Hz) 4V VÁLTÓFESZULTSÉGŰ forrásra (pl. a "TÁPEGYSÉG 1" 4V-os kimenetére) cseréljük, a műszereket váltófeszültségű üzemmódra állítjuk. (A méréshatárok változatlanok maradnak.)



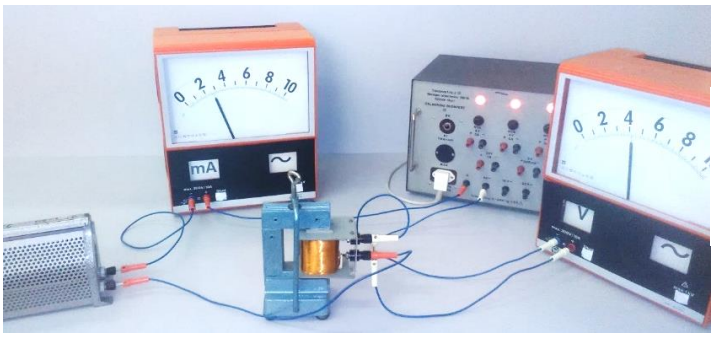
Az előző mérési eljárást megismételve kiszámítjuk a tekercs Z_a impedanciáját és L_a önindukciós együtthatóját.

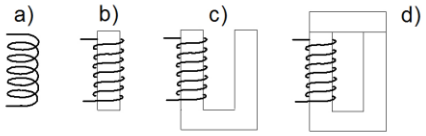
$U_{\sim}$ (V)					
$I_{\sim}$ (mA)					
Z_a (Ω)					

Mért átlagos Z_a érték: _____Ω, ez alapján számított L_a érték: _____ mH.

3) Vasmagos tekercs impedanciájának mérése

Helyezzünk a tekercsbe egyenes vasmagot (lásd alul b) ábra) U alakú vasmagot (lásd alul c) ábra), zárt vasmagot (lásd alul d) ábra) és ismételjük meg mindegyik esetben a méréssorozatot!





Módszertani kiegészítések

- Tájékoztatásul közöljük az üres, az egyenes-vasmagos, az U-vasmagos és a zárt-vasmagos 1200 menetes TANÉRT tekercs impedanciáját és önindukciós együtthatóját (kerekített ohm ill. henry egységben).

$$Z_a = 20 \qquad Z_b = 65 \qquad Z_c = 100 \qquad Z_d = 4000$$

$$L_a = 0{,}04 \qquad L_b = 0{,}2 \qquad L_c = 0{,}3 \qquad L_d = 13$$

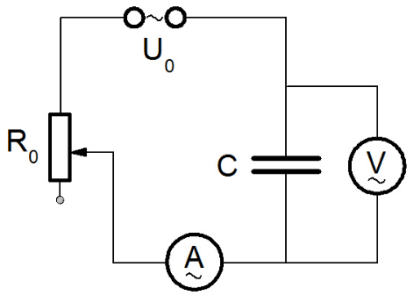
7.41. Kondenzátor kapacitásának számolása az impedancia mérésével

A kísérlet célja

Az induktív ellenállás mellett természetesen a kondenzátorok kapacitív ellenállása is megjelenik váltakozó áramok esetén (is). Ennek a szintén absztrakt fogalomnak a konkrétabbá, kézzelfoghatóbbá tételéhez lehet hasznos az alábbi kísérlet.

Szükséges anyagok, eszközök

- Tápegység (6V váltófeszültséget adó)
- Áram- és feszültségmérő műszerek
- Iskolai kondenzátor sorozat
- 320 ohmos tolóellenállás
- Kábelek



Leírás

Határozzuk meg az iskolai kondenzátor sorozat C = 12 µF névleges értékű tagjának kapacitását! A C kapacitású kondenzátor az (ω) körfrekvenciájú (szinuszosan) váltakozó árammal szemben

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

impedanciát (váltóáramú ellenállást) képvisel. Ha tehát megmérjük a kondenzátor ismert (pl. az 50 Hz hálózati) frekvenciához tartozó impedanciáját, akkor kapacitását a fenti formulából kiszámíthatjuk. Állítsuk össze az ábrákon látható kapcsolást! Az áramerősséget egy 320 ohmos tolóellenállással szabályozzuk. A kondenzátor I áramának ill. a kondenzátoron eső U feszültségnek mérésére állítsuk a műszereket (váltófeszültségű üzemmódban) 30 mA ill. 10V méréshatárral! Feszültségforrásként a tápegység 6V-os (váltó)feszültséget adó kimenetét használjuk!

Állítsunk be a tolóellenállással néhány (4-5) különböző áram- ill. feszültség értéket! Foglaljuk ezeket táblázatba és számítsuk ki a kondenzátor X_C impedanciáját, és C kapacitását!

U (V)					
I (mA)					
X_C (Ω)					

Mért átlagos X_C érték: _____Ω, ez alapján számított C érték: _____ μF.

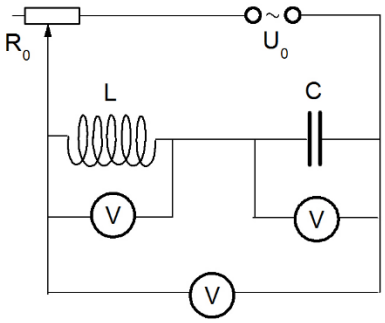
7.42. Feszültségrezonancia bemutatása soros RLC áramkörben

A kísérlet célja

Egy egyszerű soros RLC kör feszültségviszonyait demonstrálása.

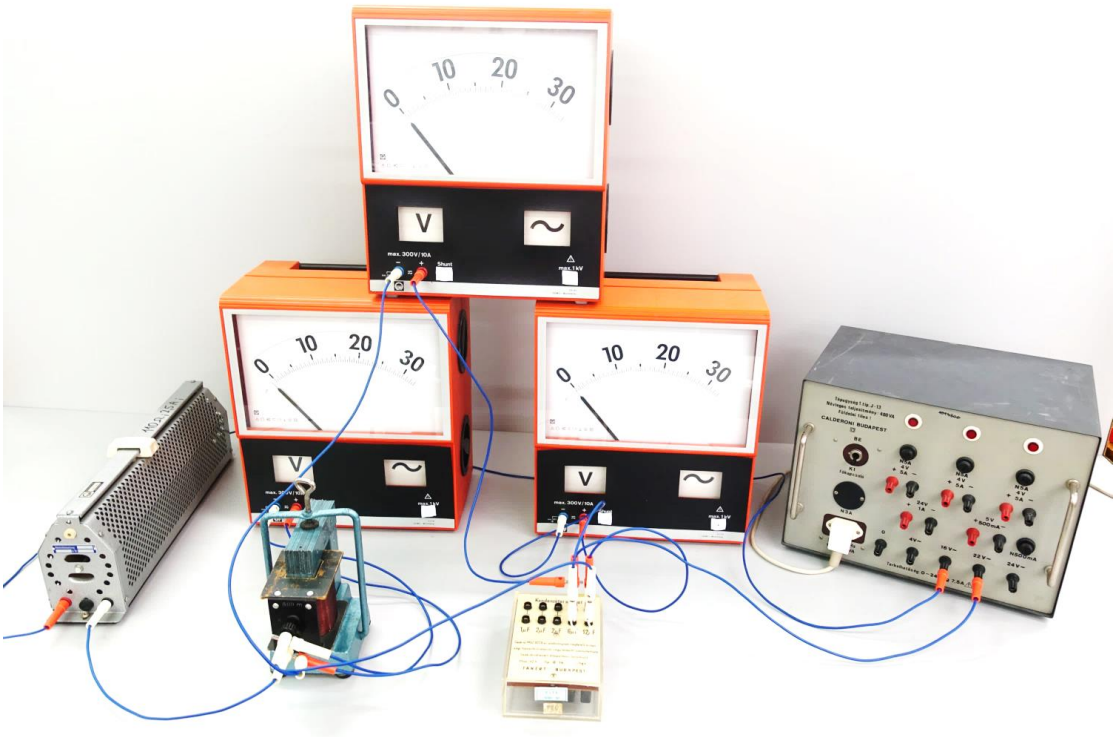
Szükséges eszközök

- 3 db mérőműszer (Leybold)
- Vasmagos tekercs (N = 600)
- Iskolai kondenzátor sorozat
- Tolóellenállás 105 ohm
- „Tápegység 1”
- Kábelek



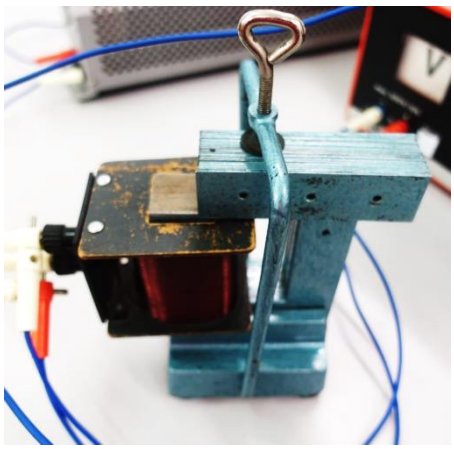
Leírás

A fenti ábrán látható kapcsolás egy olyan feszültségosztó, amelyet nem két ellenállás, hanem egy ellenállás és egy soros rezgőkör (tekercs és kondenzátor) alkot, ahol a kimeneti feszültség a soros rezgőkör feszültsége. Ha a bemeneti feszültség frekvenciája a rezgőkör rezonancia frekvenciájával egyezik meg, akkor a rezgőkör impedanciája minimális lesz. A soros rezgőkört a rezonancia frekvenciájával megegyező frekvencia kiválasztására (pl. rádiók) vagy kiszűrésére használjuk. Kapcsoljunk a tápegység 6 V váltófeszültségű kimenetére egy $R_0 = 105$ ohmos tolóellenállást, ezzel sorba egy zártvasmagos N = 600 menetes tekercset (a szétszedhető iskolai transzformátor készletből) és egy C = 18 µF kapacitású kondenzátort (a tanulókísérleti kondenzátor sorozatból a 12 µF és a 6 µF párhuzamos kapcsolásával)! A kondenzátorok kapcsolása a kinagyított ábrán látható. A kért kapcsolás megvalósítása az alsó ábrán látható:



Feladatok

- Mérjük a tekercsen, a kondenzátoron és ezek soros együttesén eső feszültséget! A műszerek váltófeszültségű üzemmódban 30V méréshatárra legyenek állítva!
- Olvassuk le a feszültségeket! Jelöljük a tekercsen ill. a kondenzátoron eső feszültséget U_T ill. U_C-vel, az eredő feszültséget U-val! *Megjegyzés:* Ne feledjük, hogy a tekercsen eső U_T feszültség a tekercs ohmikus ellenállásán eső U_R és induktív ellenállásán eső U_L feszültségek "vektori" összege.
- Változtassuk a tekercs záróvasának helyzetét! Ezzel megváltozik a tekercs impedanciája, a soros kör ellenállása és a körben folyó áram erőssége. A műszerek a megváltozott feszültségeket mutatják. A záróvas alkalmasan választott helyzetében (értsd: a tekercs egy jól definiált impedanciájánál) az eredő U feszültség minimum értéket vesz fel, a tekercs U_T és a kondenzátor U_C feszültsége egymással közel egyenlővé (és az eredőnek többszörösévé) válik.



- Olvassuk le a feszültségeket a feszültségrezonancia állapotában! Vegyük észre, hogy most a tekercsen eső U_T feszültség U_L, induktív komponense - hibán belül - a kondenzátoron eső U_C feszültséggel egyenlő.

Módszertani kiegészítések

- Az R_0 tolóellenállás a kör áramának alkalmas beszabályozására szolgál. A beállítás akkor optimális, ha a rezonancia esetben a tekercsen és a kondenzátoron eső feszültséget mérő két műszer mutatója végkitérés közelében (tehát jól leolvasható helyzetben) van, de a záróvas tologatása során sem megy túl azon. Az optimális beállítás próbálkozással történik. R_0 kezdőértéke a maximális legyen.
- Vegyük észre, hogy a jelenség megdöbbentő lehet az egyenáramokban gondolkodó diákság számára, hiszen ideális esetben a tekercs és a kondenzátor feszültsége is közel 30 V, de csak 6 V feszültséget ad ki a tápegység. Ennek feloldásához mindenképpen szükséges a vektoros gondolkodásmód. Ez a jelenség elmondva nem olyan megdöbbentő, mint kísérletileg tapasztalva.

7.43. Kondenzátor töltése és kisütése ohmos ellenálláson át

A kísérletek célja

Nemlineáris folyamatok, mint pl. a radioaktív sugárzás, egyszerű bemutatására szolgálhat egy kondenzátor feltöltése, illetve kisütése.

Elméleti bevezetés

Ha egy kondenzátort megpróbálunk egyenáram segítségével feltölteni, idővel az áram egyre csökkenni fog, hiszen az egyre jobban töltött kondenzátor „ellenállása“ egyre nagyobb lesz. A töltött kondenzátor R ellenálláson történő kisütésekor hasonlóan kezdetben gyorsan csökken az áramerősség, majd egyre kevésbé, hiszen egyre kisebb lesz a kondenzátoron a töltések mennyisége, ezáltal a feszültsége, így a folyamat „meghajtó ereje“ csökken. Ezek a folyamatok az időben exponenciálisan leírható feszültség és áramerősség értékeket eredményeznek az áramkörben.

Azt az időt, ami alatt egy kisülő kondenzátor feszültsége – illetve a miatta folyó áramerőssége a kezdeti érték – felére csökken, az áramkör felezési idejének T_F nevezzük, melyet az alábbi összefüggéssel határozhatunk meg:

$$T_F = R \cdot C \cdot ln2$$

ahol az $R \cdot C = \tau$ szorzatot az áramkör időállandójának is nevezik.

Ha a *C* kapacitású kondenzátort *R* ohmos ellenálláson keresztül U_0 (egyen)feszültségű telepre kapcsoljuk, akkor a kondenzátor felé $I_0 = U_0/R$ induló értékű, az időben lecsengő áramerősség indul meg.

Áramerősség-idő függvény a kondenzátor feltöltéskor:

$$I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}, \text{illetve } I(t) = I_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_F}}$$

Áramerősség-idő függvény a kondenzátor kisütéskor a töltőárammal ellenkező irányú áramot határoz meg:

$$I(t) = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{RC}}, \text{illetve } I(t) = -I_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_F}}$$

Szükséges eszközök

- C = 0,01 F kapacitású elektrolit kondenzátor (FONTOS: a + és – kivezetések nem felcserélhetők!)
- Zseblámpa izzó és foglalat
- 4,5 V zsebtelep
- Áramerősségmérő
- Morse-kapcsoló
- Kábelek
- egy 0,5 kΩ-os és egy 2,5 kΩ-os ellenállás (képeken TANÉRT ellenállás szekrény)

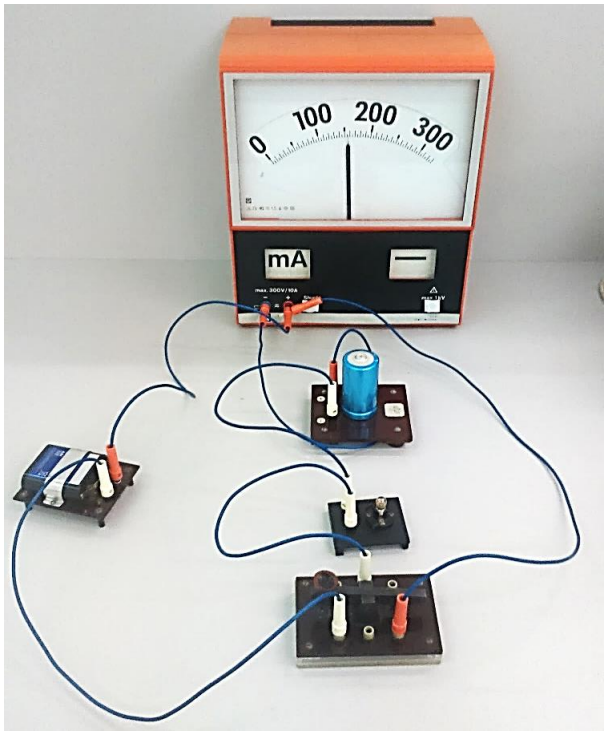
a) A töltő- és a kisütőáram irányának és időfüggésének demonstrálása

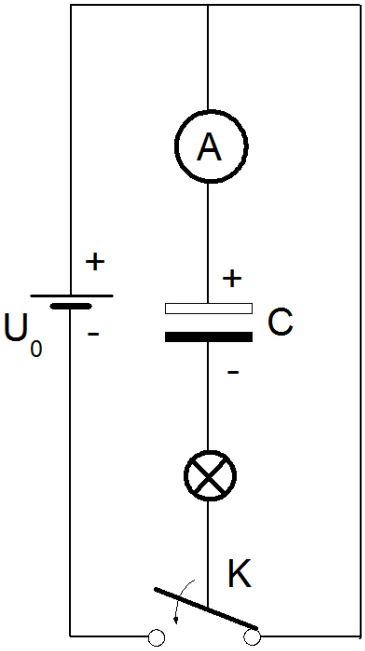
Leírás

A töltéskor meginduló, majd zérusra csökkenő, valamint a kisütéskor ellentétes irányú, és ugyancsak zérusra csökkenő áramerősség változást az alábbi ábra szerinti összeállításban demonstrálhatjuk. A feszültségforrás egy zsebelem (U = 4,5 V), a műszer KÖZÉPNULLÁS, 300mA méréshatáron.

Megjegyzés: A piros Leybold műszerek a mutató középre állításával (kis fekete tekerő lent oldalt) középnullás műszerként használhatóak.

A kondenzátor kapacitása C = 10^{-2} F (elektrolit kondenzátor, PÓLUSHELYES bekötésére ügyelni!). Az ellenállást egy 2,5 V, 0,3 A névleges értékű zsebizzó képviseli, ellenállása üzemi hőmérsékleten kb. 8 ohm, hidegen kb. 1 ohm. Az így kialakított soros RC-kör időállandója tehát századmásodperc nagyságrendű, a töltés és a kisütés gyorsan megy végbe. Így, a K Morse-kapcsolót lenyomva a műszer mutatója hirtelen kibillen, és hirtelen visszaáll nullára. A kapcsolót elengedve ugyanez ismétlődik a másik irányba. A töltő- és a kisütő áramot a lámpa felvillanása is érzékelteti.





b) A kisütőáram időfüggésének mérése és grafikus ábrázolása

Leírás

A kondenzátor feltöltése:

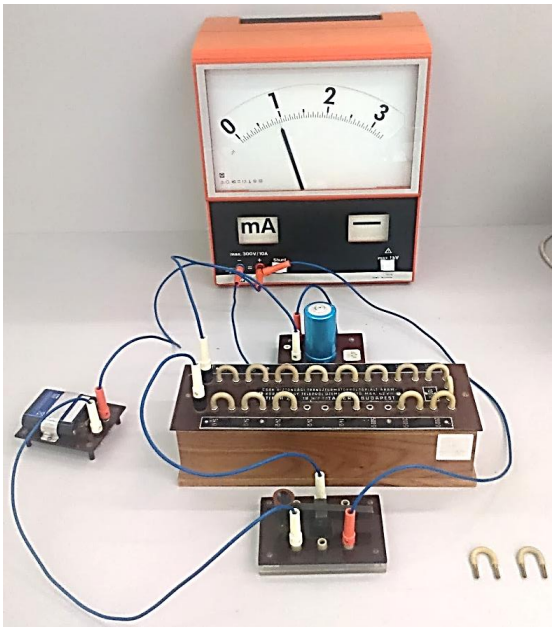
Csatlakoztassuk le a zsebelemet. Cseréljük ki a zsebizzót egy R = 0,5 kΩ-os ellenállásra (így is viszonylag gyorsan feltöltődik a kondenzátor)! Az RC-kör időállandója ezzel kb. 5 másodpercre növekszik.

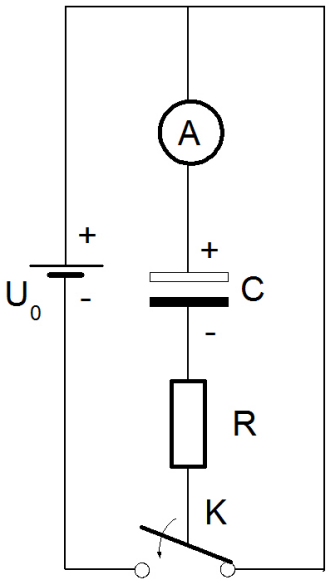
Állítsuk át a középnullás műszer méréshatárát 3mA-re, kapcsoljuk vissza (PÓLUSHELYESEN!) a zsebelemet! Nyomjuk le a K kapcsolót! A műszer mutatója hirtelen kitér, és csak lassan áll vissza a nullára. Mozgása jól érzékelhetően lassuló.

Tartsa továbbra is lenyomva a kapcsolót!

A kondenzátor kisülése:

A jelenség jobban demonstrálható, ha a kisülés viszonylag lassú: A kisütési ellenállást cserélje 2500 ohmra! Ehhez az ellenállás szekrényből húzzuk ki a 2 kΩ felíratnál lévő hidat. Nullára állás után a kapcsolót elengedve a folyamat ellentétes irányban megy végbe.





Feladat

- Olvassa le a maximális I_0 áramerősséget! Jegyezze fel ezt az értéket!
- Választott paramétereink mellett a folyamat elég lassú ahhoz, hogy az áramerősség időfüggését mérni lehessen. Ehhez mobiltelefon stopperóráját figyelve olvassuk le egyenlő időközönként az áramerősség pillanatnyi értékét, készítsünk erről táblázatot. (Pontosabb méréshez természetesen többször érdemes a kísérletet elvégezni.)

Áramerősség							
Mérés 1: Idő (sec)							
Mérés 2: Idő (sec)							
Mérés 3: Idő (sec)							

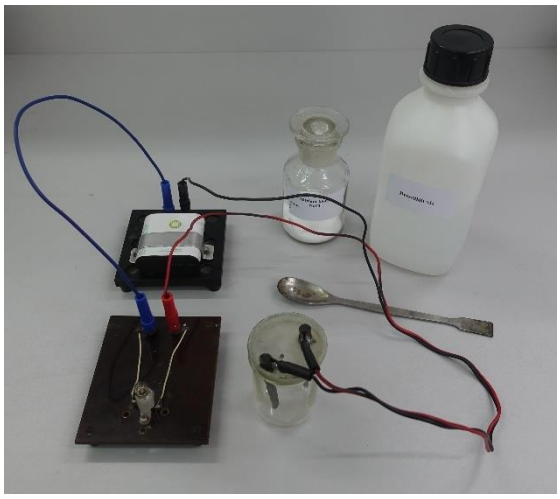
- Ábrázoljuk az összetartozó idő - áramerősség értékeket, és illesszünk a pontokra exponenciális függvényt! Másik eljárás lehet az áramerősség logaritmusát ábrázolni az idő függvényében. Ebben az esetben egy egyenes mentén kell az adatoknak szórni.
- Vessük össze a függvényről leolvasható időállandót, ill. felezési időt a kondenzátor és az ellenállás névleges értékéből számított időállandóval, ill. felezési idővel!

7.44. Az elektrolitikus vezetés szemléltetése sóoldattal, zsebizzóval

A kísérlet célja

Az elektrolitok vezetésének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök



- desztillált víz
- konyhasó (nátrium-klorid, NaCl)
- zsebtelep
- zsebizzó
- röpzsinórok
- grafitelektródok, műanyag lemezbe rögzítve
- főzőpohár, 100 cm^3-es
- petri-csésze
- vegyszereskanál
- üvegbot

Leírás

A grafitelektródokat az izzó közbeiktatásával csatlakoztassuk 4,5 V-os zsebtelephez! Szórjunk kevés szilárd konyhasót a petri-csészébe! „Mártsuk” bele a sóba az elektródokat! Figyeljük meg, hogy az izzó nem világít! Kössük össze vezetékkel a két elektródot. Ekkor a lámpa világít. Öntsünk ezután desztillált vizet a főzőpohárba úgy, hogy az elektródok kb. 1 cm mélyen belemerülhessenek! Mártsuk bele az elektródokat a vízbe! Figyeljük meg, hogy az izzó nem világít!

Szórjunk ezután fél vegyszeres kanálnyi konyhasót a vízbe, az üvegbottal keverjük el! Mártsuk bele az elektródokat a vízbe, figyeljük meg az izzót! Oldjunk újabb adag sót a vízben többször egymás után! Figyeljünk meg a változást az izzón!

> ***Figyelem!***
>
> A vegyszeres kanál kizárólag a szilárd vegyszer adagolására szolgál! Az oldatot az üvegbottal kell keverni!

Feladat

- Mi történne, ha cukrot oldanánk a vízben?
- Soroljunk fel még legalább három anyagot, amivel a konyhasót helyettesíteni lehet!

Módszertani megjegyzés

- A kísérletben tulajdonképpen nátrium-klorid-oldat elektrolízise történik, ennek megfelelően klórgáz keletkezik. Ez a szúrós szagú gáz, bár mérgező anyag, olyan kis mennyiségben jön létre ebben a kísérletben, hogy semmiféle aggodalomra nincs okunk.

7.45. Az ionsúrlódási jelenség bemutatása

A kísérlet célja

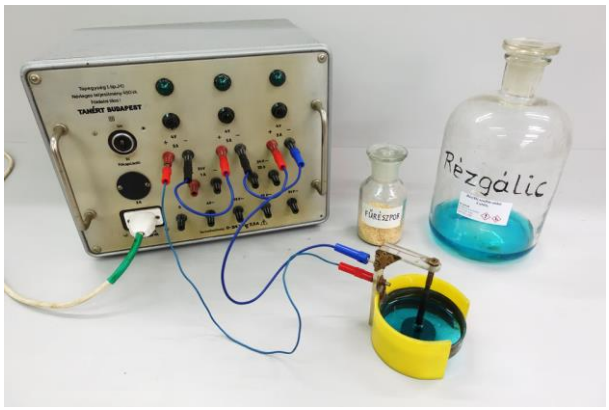
Az ionsúrlódási jelenség bemutatása, a Lorentz-erő irányának bemutatása egy érdekes példán.

Szükséges anyagok, eszközök

- kristályosító csésze vagy Petri-csésze
- hengerpalást alakúra hajlított rézlemez, mint elektród
- szénelektród
- tápegység (12 V, egyenfeszültségű)
- röpzsinórok
- korong alakú mágnes
- parafareszelék
- réz-szulfát-oldat (rézgálic-oldat; $CuSO_4$-oldat)

Leírás

Tegyük a hajlított rézlemezt az üvegedénybe! Öntsünk réz-szulfát-oldatot a tálba és állítsuk bele a szénelektródot! Helyezzük a mágnest az üvegtál alá!



Kapcsoljunk a réz- és a szénelektródra 12 V-os egyenfeszültséget. Figyeljük meg, hogy az egymásra merőleges mágneses és elektromos tér hatására az ionok mozgásának következtében az egész oldat forgásba jön! Ezt jól láthatóvá tehetjük, ha a folyadék felszínére kevés(!) parafareszeléket szórunk.

Végezzük el úgy is a kísérletet, hogy megfordítva a mágnest, felcseréljük annak pólusait! Végezzük el úgy is a kísérletet, hogy a tápegység pólusait felcserélve megfordítja az áramirányt!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázza meg, miért jönnek mozgásba az ionok ebben a kísérletben! Milyen irányban mozognak a rézionok és milyen irányban a szulfátionok?
- Magyarázza meg a mágnes, illetve a telep pólusainak felcserélésekor tapasztalt változásokat!

7.46. Galvánelem összeállítása, működésének vizsgálata

A kísérlet célja

A galvánelemek felépítésének modellezése, működésük alapjának bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- rézlemez
- cinklemez
- réz-szulfát-oldat ($CuSO_4$-oldat), 1 mol/dm^3 koncentrációjú
- cink-szulfát-oldat ($ZnSO_4$-oldat), 1 mol/dm^3 koncentrációjú
- 1 db kisméretű főzőpohár (amibe a cinklemez belefér)
- röpzsinórok
- krokodilcsipeszek
- kisméretű mázatlan cserépedény (alján nem lukas!)
- kis üvegtál
- demonstrációs V/A mérő

Leírás

1. Redukciós és oxidációs folyamatok vizsgálata

Öntsünk a főzőpohárba kevés réz-szulfát-oldatot, majd helyezzük az oldatba a cinklemezt! Egy-két percnyi várakozás után figyeljük meg, hogy a fémlemez felületén vörös bevonat jelent meg, réz vált ki rá az oldatból. A lemez cinkatomjai és az oldat rézionjai között ugyanis kémiai reakció, elektronátadás történt:

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$$

A cinkatomok elektront adtak le (oxidáció), a rézionok elektront vettek fel (redukció). A fenti reakcióban ez egyszerre történt, az elektronok közvetlenül a részecskék közt cserélődtek ki.

Ez a reakció elektromos áram termelésére használható, ha sikerül az oxidációs és a redukciós folyamatot térben elválasztani, és az átadott elektronokat vezetéken át vezetni. Ugyanakkor biztosítani kell az áramkör záródását, azaz az oldatok közt az ionok átjárását az oldatok keveredése nélkül. Ez megvalósítható, ha ún. diafragmával (pl. mázatlan cseréppel) választjuk el az oldatokat.

2. Galváncella (Daniell-elem) összeállítása

Öntsünk egy kis üvegtálba réz-szulfát-oldatot, és mártsunk ebbe rézlemezt! Öntsünk egy kis agyagcserépbe cink-szulfát-oldatot és mártsunk bele cinklemezt! Tegyük az agyagcserepet az üvegtálba! A két fémet röpzsinórok segítségével kapcsoljuk feszültségmérőhöz!

Figyeljük meg, hogy a két fém között feszültség mérhető. (A cinklemez mérete, tömege csökken, a rézlemezen vöröses anyag válik ki, tömege nő.)

Az előzőhöz hasonló módon a cinkatomokból cinkionok, a rézionokból rézatomok keletkeznek, de most a redoxireakcióban részt vevő elektronok a feszültségmérőn haladnak át.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a különbség az akkumulátorok és a galvánelemek között?

Módszertani kiegészítések

- 1 mol/dm^3 koncentrációjú oldatot úgy készíthetünk, hogy kimérünk annyi gramm anyagot, mint a vegyület moláris tömege és ebből 1 dm^3 oldatot készítünk
  - a $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ moláris tömege 249,5 g/mol
  - a $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ moláris tömege 287,5 g/mol
- Mázatlan cserépedény hiányában úgynevezett sóhidat is használhatunk. Ehhez U alakú üvegcsőbe töltsünk kálium-nitrát(KNO_3)-tartalmú kocsonyát (agar-agart), és ezt fordítsuk bele az egy-egy főzőpohárba öntött oldatokba. Végső esetben kálium-nitrát-oldatba mártott szűrőpapírcsíkot is használhatunk.

7.47. Krumpli (vagy gyümölcs) áramforrás készítése

A kísérlet célja

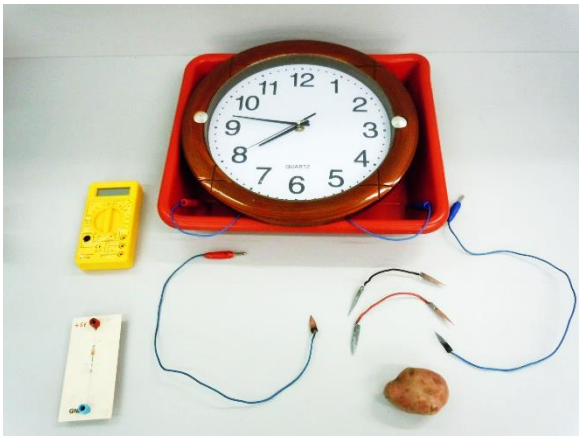
Áramforrás összeállítása házi eszközökből.

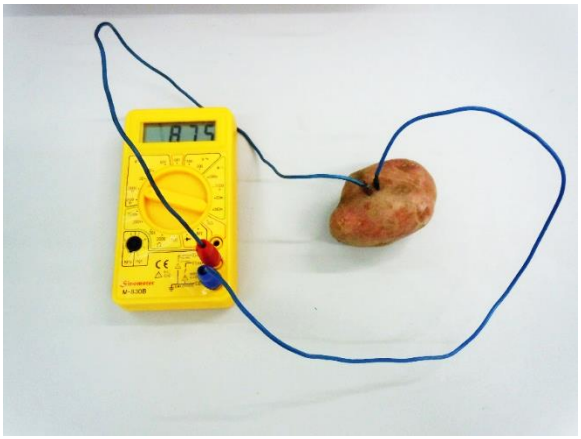
Szükséges anyagok, eszközök

- 3 citrom vagy krumpli (szükség esetén félbevághatók, szeletelhetők, citrom helyett citromlé is használható)
- 3 réztüske
- 3 cinktüske
- dörzspapír
- röpzsinórok
- krokodilcsipeszek
- digitális multiméter
- falióra, vagy asztali óra (folytonjáró másodpercmutatóval)
- LED-ek

Leírás

A kísérlethez szükséges réz- és cinktüskéket érdemes vezetékhez forrasztani. Ennek hiányában krokodilcsipeszekkel is megoldható a csatlakozás. Szúrjon egy réztüskét és egy cinktüskét egy citromba/krumpliba! (Szükség esetén dörzspapírral hozzon létre friss felületet a fémeken!) A fémeket mélyre, egymással párhuzamosan, viszonylag közel kell beszúrni, de ne érjenek egymáshoz! Minél nagyobb felületük legyen benne a citromban/krumpliban!





Feladatok

- Mérjük meg a citromelem/krumplielem feszültségét multiméterrel! Akár 1,5 V feszültséget is mérhetünk, ami elegendő lehet az óra működéséhez!
- Kapcsoljunk egyetlen citrom/krumpli -elemet az órához! Az óra nem indul el. A feszültségmérővel most megmérve a galváncella feszültségét, azt tapasztaljuk, hogy az 1,5 V-nál jóval kisebb értéket mutat. Most ugyanis az ún. kapocsfeszültséget mérjük, előbb pedig az elektromotoros erőt. A gyümölcselem belső ellenállása miatt előbbi jóval kisebb, mint utóbbi.
- Kapcsoljunk két vagy akár három citrom/krumpli-elemet sorosan és kössük őket (helyes polaritással) az órához! (Szükség esetén a krumpli/citrom darabolható.) Két vagy három sorbakapcsolt gyümölcselem kapocsfeszültsége most már elegendő ahhoz, hogy elérje a falióra működéséhez szükséges feszültséget.
- Próbáljunk LED-lámpákat is üzemeltetni az áramforrás segítségével!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Az eddigi kísérletek tapasztalatai alapján fogalmazza meg, mi szükséges ahhoz alapvetően, hogy elektrokémiai áramforrást állítsunk össze!
- Magyarázzuk meg, hogy mi a belső ellenállás és miért van egy telepnek (*citromelemnek/krumplielemnek*) belső ellenállása!

7.48. Volta-oszlop építése pénzérmékből

A kísérlet célja

Áramforrás összeállítása házi eszközökből, Volta eszközének modellezése.

Szükséges anyagok, eszközök

- pénzérmék (10 Ft-osok és régi alumínium 1 Ft-osok)
- kartonpapír (itatós papír)
- NaCl-oldat (sós víz) az 1. mérésből
- csipesz
- olló
- röpzsinórok
- digitális multiméter

Leírás

A kartonlapból vágjunk kb. akkora méretű korongokat, mint a pénzérmék! Áztassuk be ezeket csipesz segítségével a nátrium-klorid oldatba (a sós vízbe)! Tegyünk felváltva egymásra a pénzérméket, közéjük nedves lapot!

Feladat

- Mérjük meg az alsó és a felső pénzérme között mérhető feszültséget! Vizsgáljuk meg, hogyan függ a mérhető feszültség az egymásra helyezett érmek számától!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a fizikatörténeti jelentősége annak, hogy Volta elkészítette ezt az eszközt?

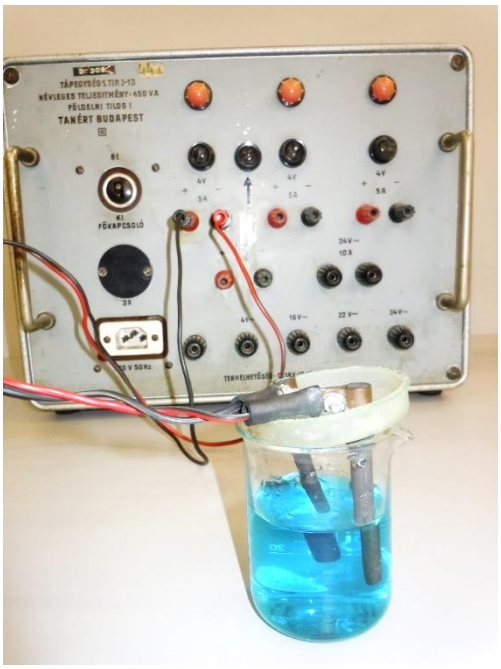
7.49. Elektrolízis réz-szulfát oldattal és/vagy cink-jodid oldattal

A kísérlet célja

Az elektromos áram kémiai hatásának bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- 1 db kisméretű (100 cm^3-es) főzőpohár
- 1 db grafitelektród-pár (pl. műanyaglemezbe befogva), fémes kivezetéssel
- dörzspapír
- áramforrás (tápegység)
- röpzsinórok
- réz-szulfát-oldat ($CuSO_4$-oldat) és/vagy cink-jodid-oldat (ZnI_2-oldat)



Leírás

Győződjünk meg róla, hogy az elektródok felülete tiszta, bevonattól mentes! Amennyiben nem, dörzspapír segítségével tisztítsuk meg őket! Öntsünk az egyik főzőpohárba annyi réz-szulfát-oldatot, hogy a grafitelektródok kb. 1 cm mélyen az oldatba merüljenek! Kapcsoljunk 4 V feszültséget az elektródokra! Megfigyelhető, hogy néhány percnyi elektrolízis után a + póluson színtelen gáz fejlődik, a – póluson pedig vöröses bevonat képződik. A + póluson ugyanis vízbontás történik és oxigéngáz keletkezik. A – póluson a rézionok rézatomokká redukálódnak az elektromos áram hatására.

Cink-jodid oldattal is elvégezhető a kísérlet. Ekkor a + pólus közelében barnás elszíneződést tapasztalunk, ugyanis az oldatban levő jodidionokból elemi jód keletkezik. A – póluson szürke bevonat jelenik meg, ugyanis itt a cinkionok cinkatomokká redukálódnak.

Módszertani kiegészítések

- Túl nagy elektrolizáló áram esetén mindkét elektródon gáz fejlődik, nem ezt a jelenséget kívánjuk megfigyelni!
- Cink-jodid oldatot úgy tudunk előállítani, hogy azonos koncentrációjú cink-szulfát-oldat ($ZnSO_4$-oldat) és kálium-jodid-oldat (KI-oldat) azonos térfogatú részleteit összekeverjük. Az oldatban szintén jelenlevő káliumionok és szulfátionok a reakciókban nem vesznek részt, a kísérlet eredményét nem befolyásolják.

7.50. Vízbontás Hoffmann-féle készülékkel. A Faraday-állandó értékének nagyságrendi meghatározása

A kísérlet célja

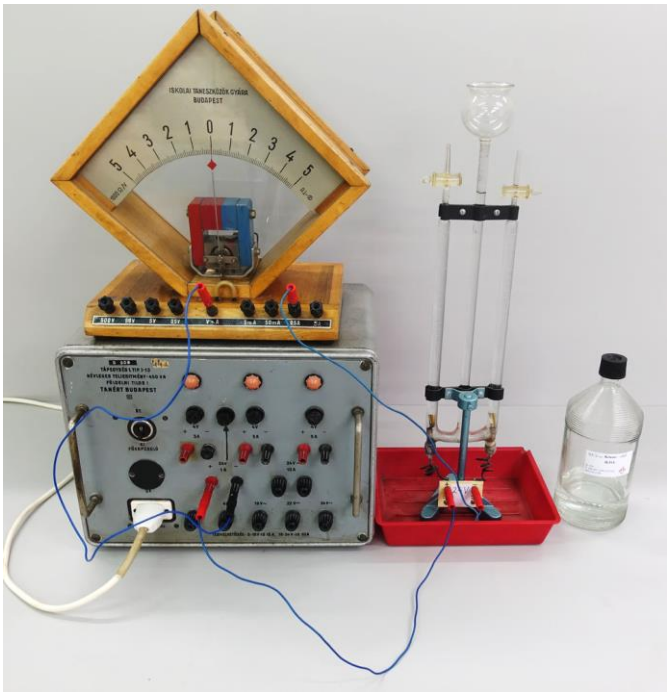
Vízbontás elektrolízissel, a Faraday-állandó értékének nagyságrendi meghatározása a fejlődő gázok tárfogatából

Szükséges anyagok, eszközök

- Hoffmann-féle vízbontó készülék
- egyenáramú tápegység
- árammérő
- röpzsinórok
- híg kénsavoldat (H_2SO_4-oldat)

Leírás

A Hoffmann-féle vízbontó készülék egy háromágú közlekedőedény. Két szélső ágának felső vége üvegcsappal elzárható. Középső ága fent tartályként kiöblösödik. Ide kell tölteni a híg kénsavoldatot. Töltsük fel a készüléket a csapok nyitott állásában úgy, hogy teljesen és buborékmentesen tele legyenek a csövek az oldattal!



Vigyázat!

Ügyeljünk arra, hogy a kénsav sehova se csöpögjön, ruhánkra ne kerüljön! A kísérlethez használt híg kénsav önmagában nem veszélyes, de idővel betöményedik és a bőrt, ruhát roncsolja! Lecsöppenés esetén bő vízzel történő mosás, öblítés szükséges!

Zárjuk el a csapokat és kapcsoljunk az elektródokra 24 V egyenfeszültséget, árammérő közbeiktatásával.

Feladat

- Elektrolizáljunk néhány percen keresztül, hogy 1-2 cm-es gázoszlop jelenjen meg a két szélső szár tetején a csapok alatt. Erre azért van szükség, hogy a folyadék telítődjön a fejlődő gázokkal. Kapcsoljuk le a feszültségforrást és engedjük ki a gázokat, majd zárjuk el a csapokat! Ezután kezdődhet a mérés.
- Kapcsoljuk be az elektrolizáló feszültséget! Kb. kétpercenként olvassuk le a fejlődő hidrogén- és oxigéngáz térfogatát! Ehhez minden alkalommal kapcsoljuk le a feszültséget, várjuk meg, míg a buborékok felszállnak. Leolvasás után indíthatjuk újra az áramot. Jegyezzük fel minden alkalommal az áramerősséget is. Ennek ideális esetben jó közelítéssel végig állandónak kell lennie!
- Amikor már kivált annyi gáz, hogy az egyik szárban kb. 5 cm, a másikban kb. 10 cm magasságú gázoszlop alakult ki, szüntessük be az elektrolízist! Olvassuk le és jegyezzük fel a szükséges adatokat és számítsuk ki a Faraday-állandó értékét a fejlődő hidrogén összmennyiségéből!

Segítség a számításhoz:

- A hidrogéngáz az elektrolizáló cella – pólusán fejlődik, az oxigéngáz a + póluson.
- A reakcióegyenlet alapján vízből kétszer akkora anyagmennyiségű hidrogéngáz fejlődik, mint oxigéngáz (ld. reakcióegyenlet). Mivel azonos állapotú gázok anyagmennyisége és térfogata egyenesen arányos, ezért tapasztaljuk, hogy hidrogéngázból kétszer akkora térfogat keletkezett.
- Határozzuk meg a keletkezett hidrogén anyagmennyiségét! Ezt az ideális gáz állapotegyenlete alapján tudjuk megtenni. A térfogat a vízbontóról közvetlenül leolvasható! Emellett a hőmérsékletet kell még lemérni. A bezárt gáz nyomását a külső légnyomás és a középső szárban lévő folyadékoszlop hidrosztatikai nyomásának összegeként számíthatjuk ki.
- A reakcióegyenletből látszik, hogy 2 mol hidrogéngáz keletkezéséhez 4 mol elektron áthaladása szükséges. Így kiszámíthatjuk a reakcióban résztvevő elektronok mennyiségét.
- Az elektrolízis során áthaladt töltések mennyiségét az áramerősség és az eltelt idő szorzataként számíthatjuk ki. Ezeket a töltéseket az elektronok szállították. Ha tehát ezt a töltésmennyiséget elosztjuk az elektronok anyagmennyiségével, megkapjuk az elektronok moláris töltését, azaz a Faraday-állandót.
- Vessük össze a kapott értéket az irodalmi értékkel!
- Számítsuk ki a kapott értékből az elemi töltés nagyságát és ezt is vessük össze az irodalmi értékkel!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért kénsavoldatot elektrolizálunk és nem desztillált vizet? Milyen anyagok híg oldata alkalmas még vízbontásra?

7.51. Kísérletek a termofeszültség bemutatására

a) A termoelektromosság alapkísérlete

A kísérlet célja

A termoelektromosság (Seeback-effektus) jelenségének bemutatása

Szükséges anyagok, eszközök

- összeszegecselt vas-réz lemezpár
- iránytű
- Bunsen-égő vagy borszeszégő, gázgyújtó
- főzőpohár, jeges vízzel

Leírás

Az eszközt az iránytűvel együtt állítsuk be a helyi mágneses észak-déli irányába! A lemezek egyik végét melegítsük lánggal, a másikat (ha lehet) mártsuk jeges vízbe!

Figyeljük meg, hogy az iránytű elmozdul.

A jelenség magyarázata, hogy ha két különböző fémből készített zárt kör összeerősítési pontjai között hőmérsékletkülönbség van, akkor töltésáramlás indul. Ezt nevezzük termo-áramnak. A jelenség neve Seeback-effektus, mely a transzportfolyamatok közé tartozó egyik ún. kereszteffektus (hőmérsékletkülönbség töltésáramot indít).

b) Egyszerű termoelem készítése

A kísérlet célja

Egyszerű termoelem készítése

Szükséges anyagok, eszközök

- 20 cm hosszú konstantán (réz-nikkel ötvözet) drót
- 20 cm hosszú vasdrót
- banándugók
- demonstrációs feszültség/ áram -mérő
- gyertya vagy borszeszégő, gázgyújtó

Leírás

A konstantándrót és a vasdrót egy-egy végét csavarjuk és kalapáljuk össze! (Tökéletes megoldásként hegesztés szükséges). Másik végükre erősítsünk banándugót! Csatlakoztassuk a banándugókat az árammérő funkcióba kapcsolt műszer legfinomabb, 5 mA méréshatárára. Melegítsük lánggal a drótok egymáshoz erősített végét! Figyeljük meg, hogy a műszer áramot jelez

c) Termocsillag bemutatása

A kísérlet célja

Nagyobb termoelem készítése nagyobb termofeszültség eléréséhez.

Szükséges anyagok, eszközök

- termocsillag
- demonstrációs feszültség/ áram -mérő
- borszeszégő, gázgyújtó
- röpzsinórok

Leírás

A termocsillag réz- és vaslemezek összeszegecselésével készül. (Tulajdonképpen az előző eszközből sok példány sorba kapcsolása.) A b) feladatrészhez hasonlóan kössük árammérőre, közepét pedig melegítsük borszeszégő lángjával! Figyeljük meg, hogy az előzőnél érzékelhetően nagyobb áramot mérünk!

Módszertani kiegészítések

- Az a), b) és c) feladatrészben csak közvetetten érzékeltettük a termofeszültséget, az általa keltett áram (mágneses tér) bemutatásával. Sajnos a néhány mV-os nagyságrendű termofeszültség mérésére speciális műszer szükséges, de a manapság kapható demonstrációs V/A mérők már ezt közvetlenül is tudják mérni.

d) Gázégő biztosítójának működése

A kísérlet célja

Gáztűzhely mágneses biztosítója működésének bemutatása.

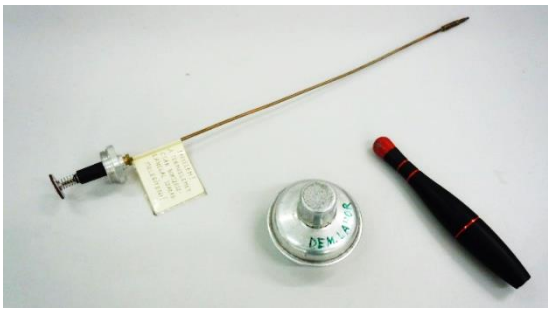
Szükséges anyagok, eszközök

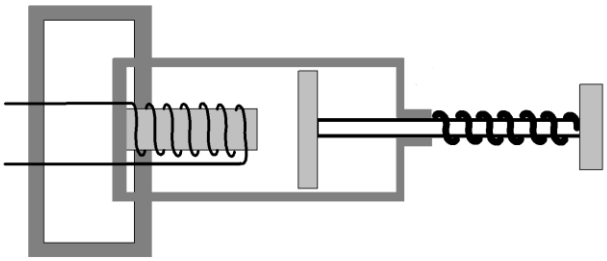
- tűzhelyből kiszerelt mágneses biztosító
- borszeszégő, gázgyújtó

Leírás

A tűzhelyből kiszerelt mágneses biztosító úgy működik, hogy amíg a termoelemet a gázláng hevíti, addig a termoelem áramkörébe kapcsolt elektromágnes egy rugó ellenében behúzott állapotban marad, így nyitva tartja a gázszelepet. Ha a láng elalszik, akkor a termoelem feszültsége megszűnik, a mágnes elenged, a rugó visszahúzza a szelepet, elzárja a gáz útját.

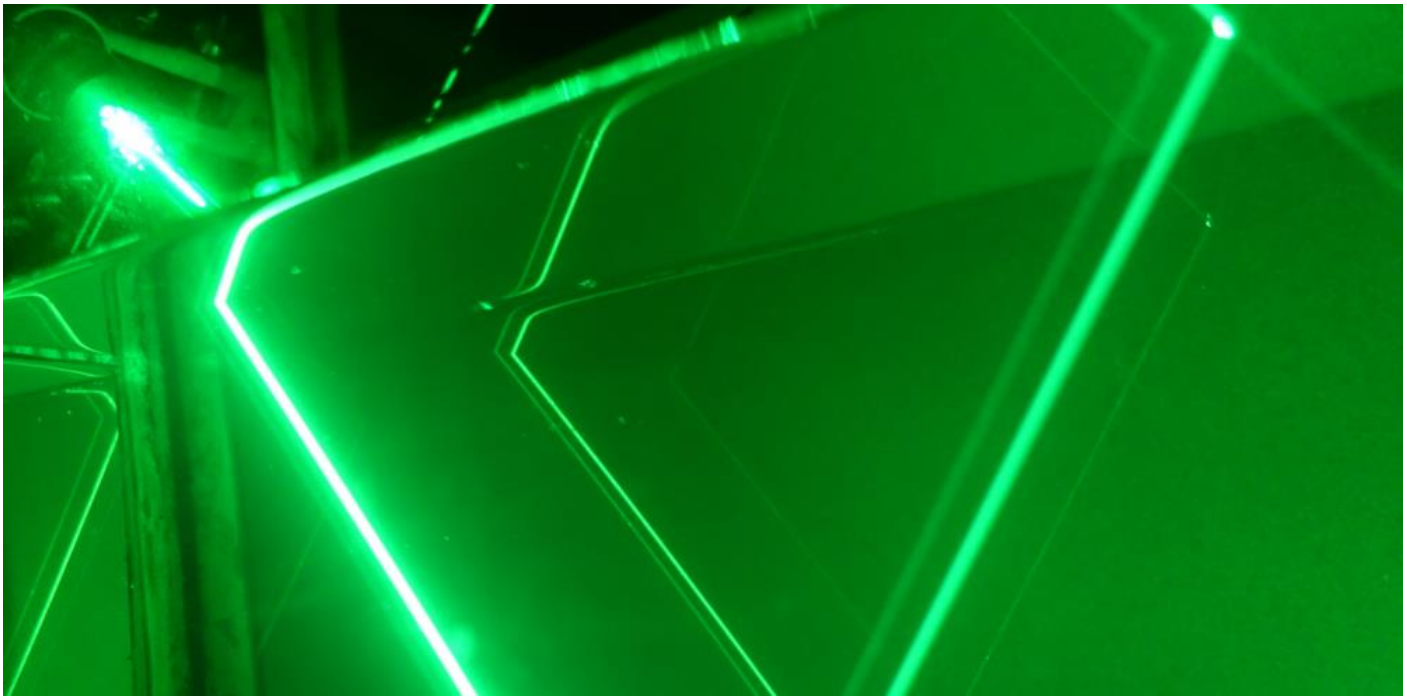
Tartsuk a tűzhelyből kiszerelt biztosító egységét (az eszköz utolsó 0,5 cm-ét) lángba, nyomjuk be zárószelepének gombját! Rövid idő múlva engedjük el! A szelep a helyén marad. Ha a biztosítót kivesszük a lángból, a szelep néhány másodperc múlva nyugalmi helyére visszaugrik.





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Soroljunk fel gyakorlati alkalmazásokat a Seeback-effektusra!



8. Optika

8.1. Párhuzamos fénynyaláb előállítása

a) Gyűjtőlencsés előállítási mód

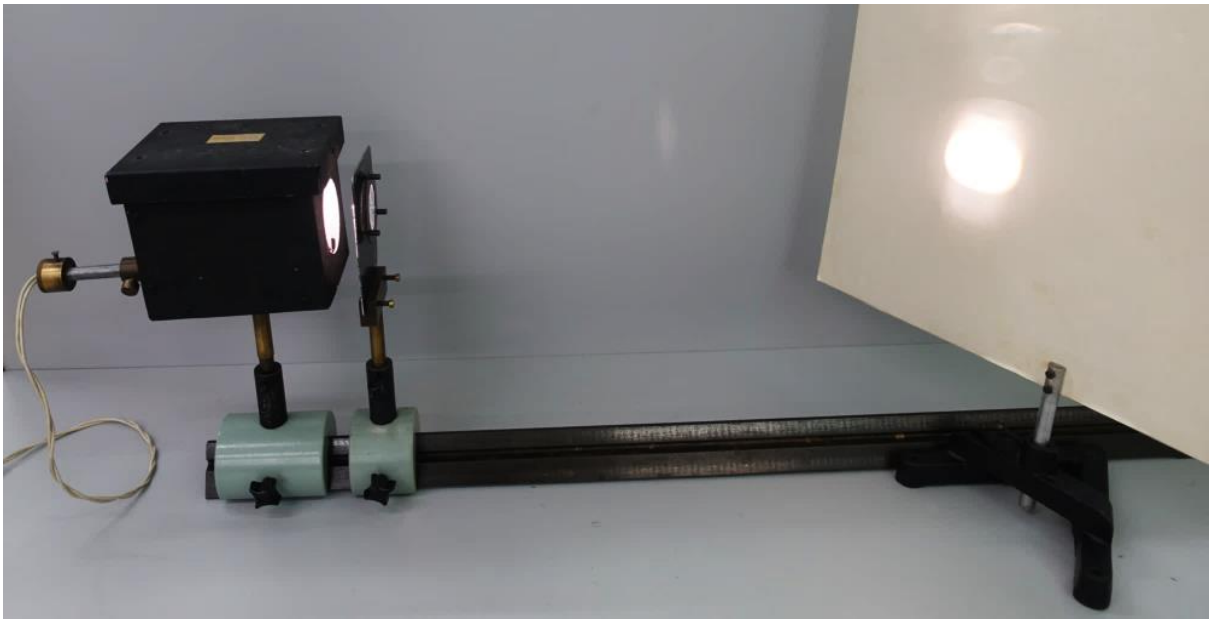
A kísérlet célja

Párhuzamos fénynyaláb előállítása a diákok számára is a könnyen érthető és alkalmazható módon, egyetlen gyűjtőlencse segítségével. Az optika kísérletek alapbeállításainak bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- optikai sín
- lovasok (tartók az optikai sínen)
- ernyő (állványon) vagy papírlap

Leírás



A pontszerűnek tekinthető izzó fényforrást helyezzük az ismert fókusztávolságú lencsétől fókusztávolságnyira. Figyeljünk arra, hogy az izzó és a lencse azonos magasságban legyen, és a fénynyaláb párhuzamos legyen az optikai sínnel. (Praktikusan ez azt jelenti, hogy ha az izzó az asztal lapjától kb. 20 cm magasan van, akkor az ernyőn keletkezett kép is az asztal lapjától kb. 20 cm-re legyen.) Az így kapott „képzeletbeli” egyenest nevezzük optikai tengelynek. A lencse által összegyűjtött fénynyaláb párhuzamosságáról egy papírlap segítségével is meggyőződhetünk. Az így kapott nyaláb a lencsehibák miatt csak rövid szakaszon tekinthető párhuzamosnak.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A lencsétől távolodva milyen lesz a papírlapra merőlegesen beeső fénynyaláb átmérője? Miért?
- Milyen egyéb (optikai) jelenségeket lehet a papírlapon megfigyelni? (Lencsehibák)

b) Lencserendszerrel történő előállítási mód

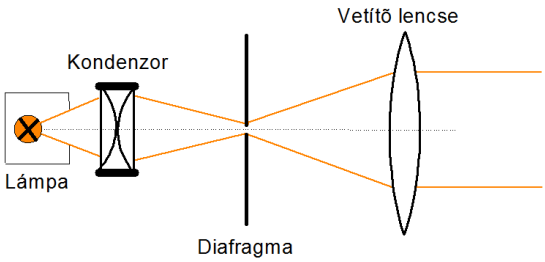
A kísérlet célja

Az egylencsés módszernél jobban párhuzamosított fénynyaláb előállítása.

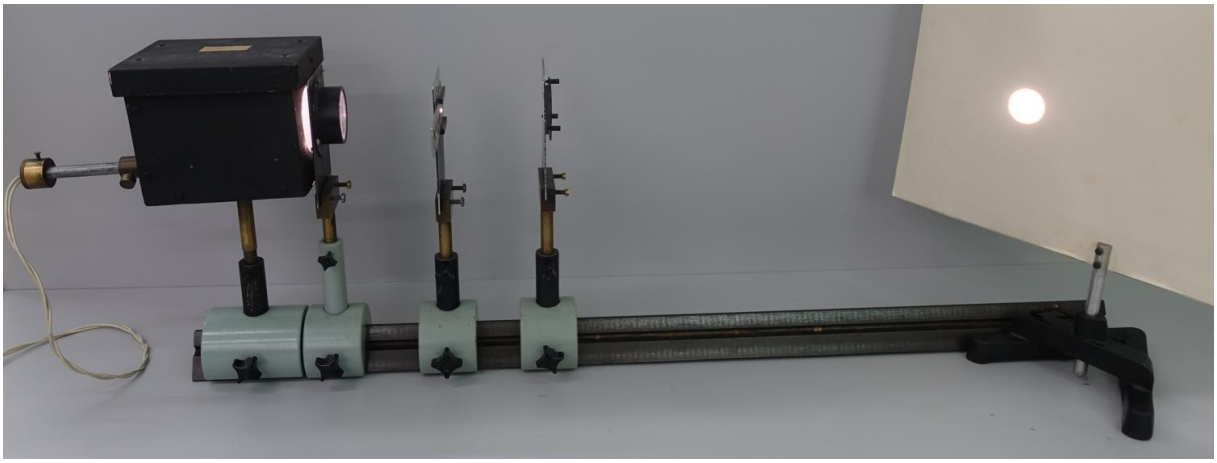
Szükséges anyagok, eszközök

- lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- kettős kondenzor (két, azonos méretű egyszerű kondenzor (síkdomború lencse), amelyek a domború felükkel egymás felé vannak összeillesztve) f ~ 5 cm
- szűk környílás (diafragma, lyukblende)
- gyűjtőlencse (kétszerdomború vagy síkdomború) f ~ 12 cm
- ernyő

Leírás



A kondenzorlencsét közvetlenül a lámpaház nyílása elé helyezzük, csupán néhány milliméteres szellőzést biztosítva. A diafragmánkat 2-3 mm-esre szűkítjük, és kondenzortól kb 10 cm távolságra állítjuk. A pontszerű fényforrás fényét a kettős kondenzorral a környílásra úgy koncentráljuk, hogy a nyílást még teljesen átfedje, s a kép kevéssel a diafragma után jöjjön létre (vagyis ott látszódjanak az izzószál kontúrjai). Ezt a fényforrás-kondenzor távolság változtatásával állíthatjuk be, de nem a lencsét mozgatjuk, hanem érdemes a fényforrásunk helyzetét eltolni a lámpatesten belül. (Ha nagyon szűk diafragmával szeretnénk kísérletezni (d < 1 mm), a képet magán a diafragmán is létrehozhatjuk). A diafragma után egy f ~ 12 cm-es fókusztávolságú gyűjtőlencsét helyezzünk el úgy, hogy a nyílás a lencse fókuszpontjába essék. Ez esetben a távoli falon/ernyőn kissé elmosódott szélű, kör alakú foltot kapunk. A legjobb fényintenzitás eléréséhez a kondenzorból érkező fénynyaláb a lehető legjobban fedje a diafragmát!



Feladatok

- A lencsétől távolodva vizsgáljuk meg a papírlapra merőlegesen beeső fénynyaláb átmérőjét. Mit tapasztalunk?

- Kissé változtassa a gyűjtőlencse helyzetét! Hogyan változik a nyaláb alakja?
- Milyen változásokat tapasztalunk a diafragma méretének változtatásával? (A diafragma méretének megfelelően természetesen a fényforrás-kondenzor távolságot is változtatni kell.)

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen egyéb (optikai) jelenségeket lehet az ernyőn megfigyelni?

Módszertani kiegészítések

- Az optikai kísérletek összeállításakor fontos, hogy az egyes optikai elemeket az optikai sínnel párhuzamos optikai tengelyre fűzzük fel. Ezáltal, ha valamelyik optikai elemet más helyre szeretnénk tenni, vagy ki szeretnénk venni, nem kell minden egyes elem magasságát újra beállítani. A kondenzor magasságát például a következőképpen állíthatjuk be. A lámpaházon belül változtatva a lámpa helyzetét, az izzószál éles képe a kondenzor segítségével kivetíthető az ernyőre. A kondenzor magassága akkor van jól beállítva, ha az izzószál képe az ernyőn körülbelül az asztaltól ugyanolyan magasan van, mint az izzó. Figyeljünk arra is, hogy az izzó a lámpaházon belül el is forgatható. Állítsuk be az izzót úgy, hogy a képe éppen a sín fölé essen. Ha ezeket már beállítottuk, akkor a következő optikai elem magasságát, a diafragma magasságát kell beállítani: a diafragmának a fénysugár közepébe kell esnie. Végül a lencsét is az optikai tengelyre helyezzük; a lencse helyét úgy állítjuk be, hogy a fényfolt a sín egyenese fölé olyan magasságban essen az ernyőre, amilyen magasan található az izzó.
- Ha nem tudjuk a gyűjtőlencse fókusztávolságát, akkor is egyszerűen meg tudjuk mondani a gyűjtőlencse helyét: állítsuk be úgy a lencsét, hogy egy távoli ernyőn a diafragma éles képét adja, majd a lencsét kicsit húzzuk az izzó felé. Ekkor a lencsetörvény alapján a diafragma körülbelül a lencse fókuszpontjában van.

8.2. Kísérletek a Hartl-féle koronggal

a) Visszaverődés sík-, homorú és domború tükrön, fő sugármenetek

A kísérlet célja

A visszaverődés törvényének és a különböző tükrök viselkedésének szemléltetése az ún. Hartl-féle korong segítségével.

Szükséges anyagok, eszközök

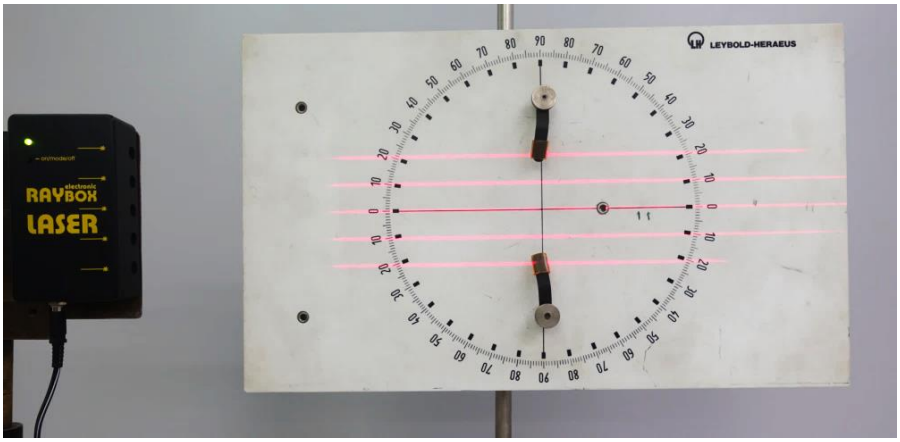
- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- sík, homorú és domború tükör (vagy csavarral állítható görbületű fémlap)

Leírás

A Hartl-féle korong egy függőleges síkban levő, vízszintes tengely körül forgatható, fokbeosztásokkal ellátott fehér korong, melyre keskeny résen vagy réseken át jut(nak) a nyaláb(ok). A közepén két csavarral rögzíthető kar található, amely segítségével a különböző tükrök és lencsék a Hartl-féle koronghoz erősíthetők.

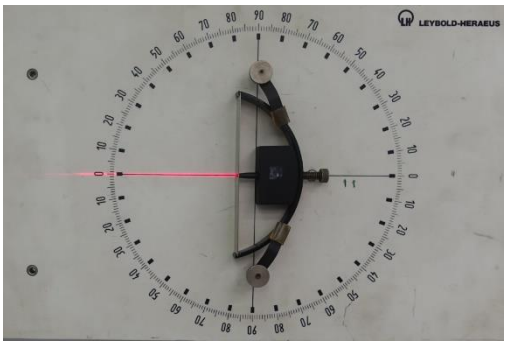
A megvilágítás beállítása:

A korong alapbeállításakor fontos, hogy a nyaláb a korongra súrlódva essen és a 0-0 fokbeosztásokon haladjon át. A beállítás a legegyszerűbb lézerfény esetén, de fényforrásként használhatjuk az 8.1/b szerint összeállított párhuzamos fénynyalábot is. A korong fehér fénnyel történő megvilágításánál az alábbi feltételeknek kell teljesülnie: a résen áthaladó fénynyaláb legyen fényerős, ne tartson nagyon szét, és – amennyiben több rést alkalmazunk – az egyes nyalábok lehetőleg legyenek párhuzamosak.



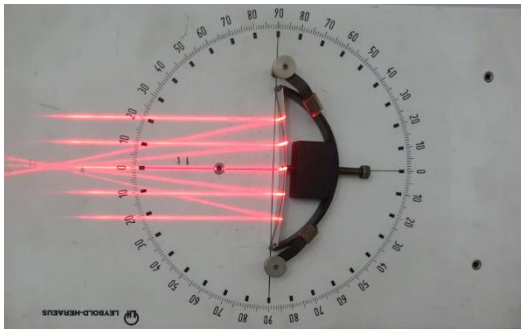
Eszközök elhelyezése a Hartl-féle korongon:

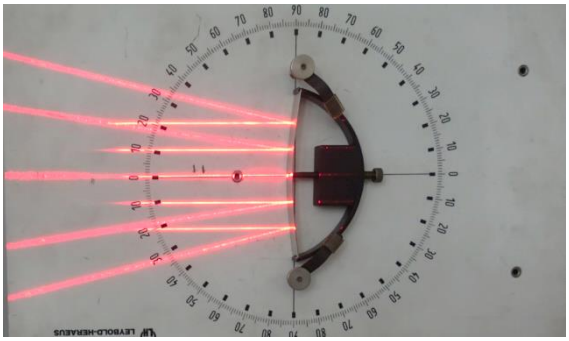
A tükröt úgy rögzítjük a korongra, hogy a tükörfelület tartalmazza a korong középpontját, és a tükör a 0°-0° irányú fénynyalábot önmagába verje vissza. A korong forgatásával tudjuk a beesési szöget változtatni. Érdemes a tükröt jól leszorítani, hogy a fénynyaláb ne terjedjen a tükör alatt is – ez ugyanis zavaró lehet.



Feladatok

- Síktükör: A Hartl-korongra megfelelően helyezett síktükör segítségével igazoljuk a visszaverődés-törvényét!
- Homorú tükör: A Hartl-korongra helyezett homorú tükörre (vagy csavarral állítható rugalmas fémlapocskára) három párhuzamos fénynyalábot vetítve a tükörről visszavert fénynyalábok segítségével mutassuk meg a tükör fókuszpontját. (Fehér fényű megvilágítás esetén a Hartl-korong oldalába többes rést helyezzünk.)





- Domború tükör: Domború tükröt (vagy a rugalmas fémlapocskát) helyezve a Hartl-féle korongra, világítsuk meg a tükröt több párhuzamos nyalábbal. Ez esetben is határozzuk meg a tükör fókusztávolságát!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen kapcsolat áll fenn a homorú tükör fókusztávolsága és a görbületi sugara között? (Ez a fényképen látható eszközzel (csavarral állítható görbületű fémlap) könnyen megvalósítható.)
- Milyen kapcsolat áll fenn a domború tükör fókusztávolsága és a görbületi sugara között?
- Ha a homorú tükör optikai tengelyével nem párhuzamosan érkeznek be az egymással párhuzamosan fénysugarak, akkor hol jön létre a visszavert fénysugarak metszéspontja?

Módszertani kiegészítések

- A Hartl-féle korong helyett manapság már a mágneses optikai táblák elterjedtebbek. A leírások természetesen azok esetén is alkalmazhatók, csupán a beállítás egyszerűsödik.

b) A fénytörési törvény bemutatása. Törésmutató meghatározás

A kísérlet célja

A törési törvény bemutatása, és egy adott anyag törésmutatójának meghatározása Hartl-féle korong segítségével

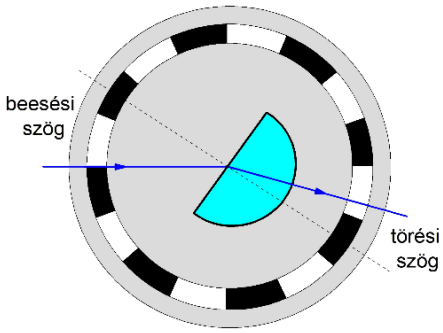
Szükséges anyagok, eszközök

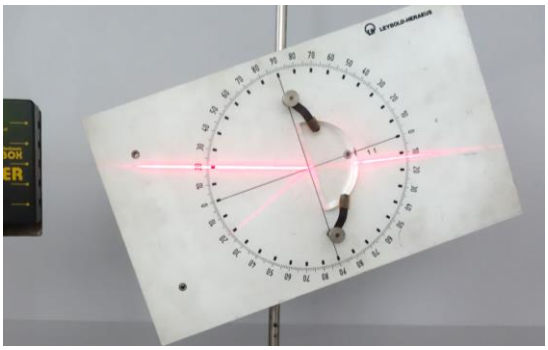
- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- üveg vagy plexi félkorong

Leírás

Levegőből üvegbe történő átmenet:

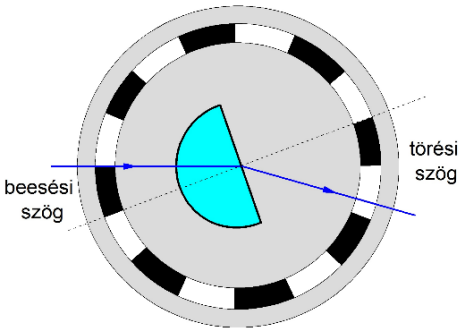
A Hartl-korongra egy vastag, félkorong alakú plexi vagy üveg testet erősítünk úgy, hogy a sík felületének középvonala tartalmazza a kör középpontját, és a nyaláb egy részét a félkorong alakú test önmagába verje vissza, és átmenjen a korong középpontján. Elfordítva a Hartl-korongot, a síkfelületre ferdén érkező nyaláb megtörik (optikailag ritkább közegből sűrűbbe jut), majd mivel kilépéskor a fénynyaláb a hengerpalástra merőlegesen érkezik, irányváltoztatás nélkül lép ki. Ezáltal leolvashatóvá válik a törés szöge.

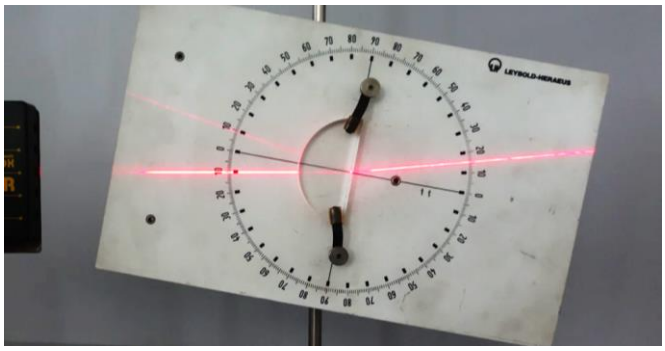




Üvegből levegőbe történő átmenet:

A sugármenet megfordításával vizsgálhatjuk az üvegből levegőbe történő átmenetet. Ehhez a Hartl-korongot az előző összeállításban (levegőből üvegbe történő átmenet) forgassuk el 180°-kal. Ekkor a fénynyaláb az üveg félkorong hengerpalástjára merőlegesen érkezik és így a fénynyaláb iránya a belépéskor nem változik és a sík üvegfelületet a korong középpontjában éri el. Kilépéskor a fény megtörik. A törési szög a korongról leolvasható.





Feladatok

- Öt különböző beesési és törési szöget megvizsgálva határozzuk meg a plexi/üveg levegőre vonatkoztatott törésmutatóját!
- Öt különböző esetben mérjük meg az üvegből levegőbe történő átlépés esetén a beesési és törési szöget, majd az adatokból határozzuk meg a levegő üvegre vonatkoztatott törésmutatóját.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Az új közegbe való belépés mellett milyen optikai jelenség figyelhető meg?
- Milyen kapcsolat fedezhető fel a két mérési sorozat eredményeként kapott törésmutató között?

Módszertani kiegészítések

- A kísérlet mérési feladatként is elvégezhető Hartl-korong nélkül, szögmérő (papír), lézer pointer és üveg vagy plexi félkorong segítségével. Ebben az esetben is figyeljünk a félkorong megfelelő elhelyezésére: a szögmérő középpontja essen egybe a korong középpontjával, és a beeső lézernyaláb is ebben a pontban érje a felületet.
- A törésmutatót kétféleképpen határozhatjuk meg. Egyrészt kiszámolhatjuk a törésmutatót minden $\sin\alpha - \sin\beta$ adatpárra, vagy egyenesillesztéssel is: $\sin\beta$ függvényében ábrázolva $\sin\alpha$-t ugyanis egyenest kapunk, amelynek meredeksége éppen a törési együttható. Ebben az esetben ne felejtsük el az $\alpha = \beta = 0$ pontot is ábrázolni.

c) A teljes visszaverődés demonstrálása

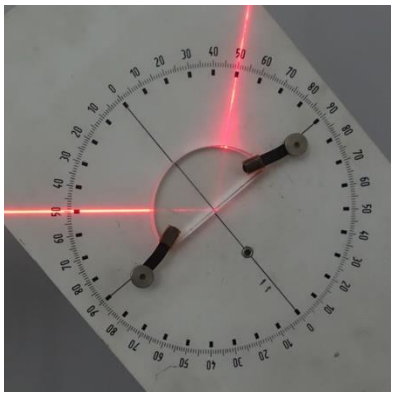
A kísérlet célja

Ha optikailag sűrűbb közegből ritkább közeg felé tart a fény, a kilépés csak egy bizonyos beesési szögig, az ún. határszögig történik meg. A határszögnél nagyobb beesési szög esetén a fény nem lép be az új közegbe, hanem teljesen visszaverődik a határfelületről. Célunk a jelenség bemutatása és a határszög kimérése

Szükséges anyagok, eszközök

- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- üveg vagy plexi félkorong

Leírás



Az üveg félkorongot a Hartl-korongon úgy helyezzük el, hogy a fény az üveg félkorong hengerpalástjára merőlegesen érkezzen és a fénynyaláb a sík üvegfelületet a korong középpontjában érje el (lásd 8.2/b kísérlet beállítása). A Hartl-korong finom mozgatásával határozzuk meg azt a határszöget, amelynél a fénynyaláb már éppen teljes visszaverődést szenved.

Feladatok

- Vessük össze az így, közvetlen méréssel kapott határszöget a 8.2/b kísérletben kapott eredményekkel! Használjuk a $sin(\alpha_h) = n_{l,ü}$ összefüggést!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen természetben előforduló jelenség magyarázható a fény teljes visszaverődésével?
- Milyen műszaki alkalmazásoknál használják ki a fény teljes visszaverődését?
- Fehér fénnyel való megvilágítás esetén milyen jelenség figyelhető meg a fény törésekor a határszög környékén?

Módszertani kiegészítések

- Száloptikát modellezhetünk az alábbi módon: világítsuk meg egy vastagabb, görbe üvegpálca egyik végét lézerrel. Mit tapasztalunk?

d) A totálreflexiós (képfordító) prizma sugármenetének bemutatása

A kísérlet célja

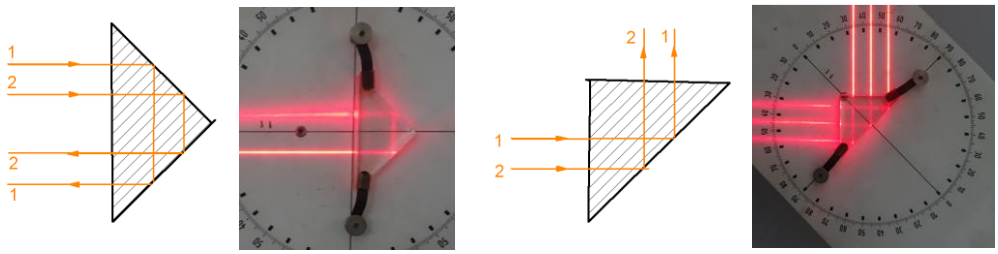
A képfordító prizma működésének bemutatása, példa teljes visszaverődésre

Szükséges anyagok, eszközök

- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- képfordító prizma (olyan prizma, amelynek keresztmetszete (főmetszete) egyenlőszárú, derékszögű háromszög)

Leírás

A képfordító prizmát rögzítsük a Hartl-korongra, majd a prizma megfelelő állásában vetítsünk rá egy vagy több fénynyalábot a rajzon látható módon. Színes genothermet téve az egyik résre a fénynyaláb színessé válik, így a képfordítás jobban látható.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen gyakorlati felhasználási lehetőségei lehetnek a totálreflexiós prizmának?

e) A prizma fénytörésének vizsgálata, diszperzió szemléltetése

A kísérlet célja

Mérőkísérlet a prizma törésmutatójának meghatározására, illetve fehér fény esetén a diszperzió jelenségének bemutatása

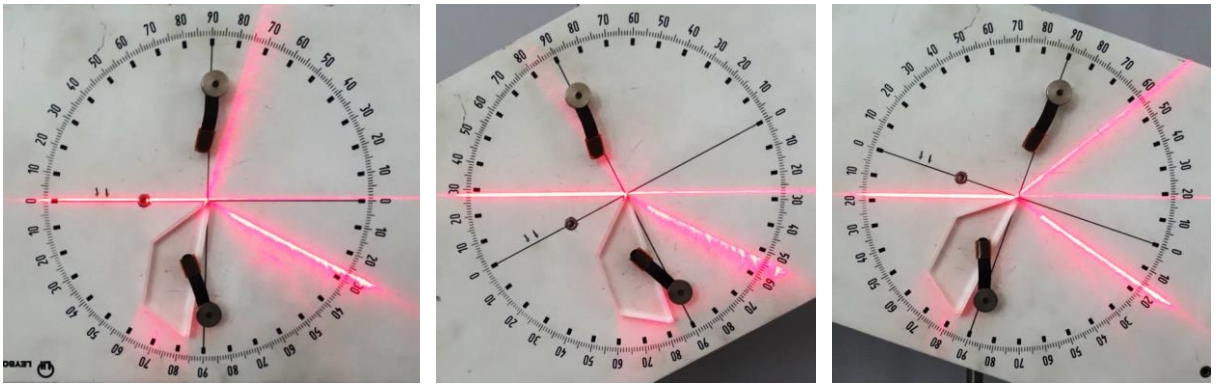
Szükséges anyagok, eszközök

- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- trapéz vagy háromszög alapú prizma

Leírás

Törésmutató számítása a minimális törőszög meghatározásával:

A prizmán áthaladó fénynyaláb eltérítésének (deviáció) bemutatására szolgál a Hartl-korongra illeszthető trapéz alakú törőtest, melynek az egyik törőszöge (φ) 45°, a másiké 60°. A prizmát úgy illesszük a korongra, hogy a prizma egyik csúcsánál lévő él a korong forgástengelyébe (középpontjába) essék, s a prizma a fénynyaláb egyik felét eltakarja. Így az eredeti nyaláb kettéoszlik: az egyik irányváltoztatás nélkül, a másik a prizmán keresztül irányváltozással halad tovább.



A fokbeosztáson az irányváltozás, azaz az eredeti iránytól való eltérülés szöge (δ) leolvasható. A korong ide-oda forgatásával észlelhető, hogy van egy minimális eltérülési vagy deviációs szög (δ_{min}). Ennek értékét a korong finom forgatásával, leolvasással határozzuk meg. A

minimális deviációs szögből az alábbi összefüggés alapján határozható meg a trapézprizma anyagának levegőre vonatkoztatott törésmutatója:

$$n = \frac{sin\frac{\delta_{min} + \varphi}{2}}{sin\frac{\varphi}{2}}.$$

Diszperzió szemléltetése:

A diszperzió jelenségének bemutatásához világítsuk meg a prizma egyik törőélét fehér fénynyalábbal. A prizma másik oldalán, egy fehér papírlapon, megfigyelhetjük a megtört fény színeit.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen természetben előforduló jelenség magyarázható a diszperzió jelenségével?

Módszertani kiegészítések

- A törésmutató hullámhossztól való függése is vizsgálható ebben az összeállításban; fehér fény esetén színszűrők alkalmazásával, vagy különböző színű lézer fényforrások segítségével.

f) Plánparalel lemez fénytörése

A kísérlet célja

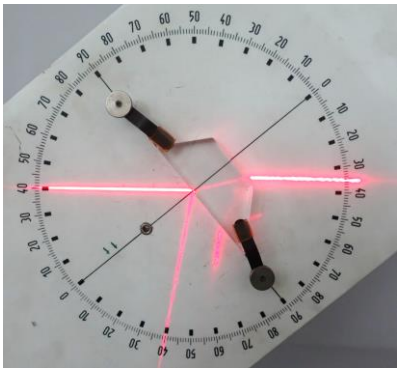
Két párhuzamos sík által határolt törőközegen (plánparalel lemez) a fénynyaláb csak eltolódást szenved

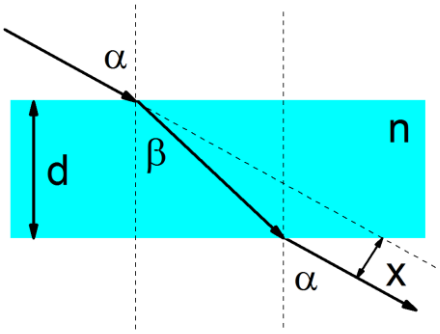
Szükséges anyagok, eszközök

- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- trapéz alapú prizma

Leírás

A Hartl-korongra szereljük a trapéztestet úgy, hogy a fénynyaláb a két szemközti, egymástól *d* távolságban levő párhuzamos oldalon haladjon át. Ferde beesésnél a nyaláb *x* nagyságú, az eredeti fénynyalábbal párhuzamos eltolódása észlelhető.





Feladatok

- A prizma *n* törésmutatójának és *d* vastagságának ismeretében számítsuk ki az alábbi képletek alapján a 60°-os beesési szöghöz tartozó *x* eltérülés mértékét! (A β szöget a beesési szögből és a korábban számolt törésmutatóból határozhatjuk meg!) Eredményünket méréssel is ellenőrizzük!

$$x = \frac{d}{cos\beta} sin(\alpha - \beta) \rightarrow n = \frac{sin\alpha}{sin\beta}$$

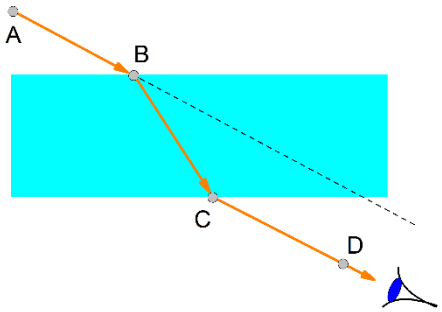
  A beesési szög méréshez a plánparalel lemez beállításánál az alábbiakra kell figyelni. A plánparalel lemez elülső párhuzamos oldalának tartalmaznia kell a korong középpontját, és a lemez a 0°-0° irányú fénynyalábot törés nélkül engedje át. Érdemes a lemezt jól leszorítani, hogy a fénynyaláb ne terjedjen a lemez alatt is, ekkor ugyanis a fénynyaláb eltolódása nem lesz jól látható.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A gyakorlati életben hol találkozhatunk plánparalel lemezek okozta fénytöréssel?

Módszertani kiegészítések

- A törésmutató hullámhossztól való függése is vizsgálható ebben az összeállításban; fehér fény esetén színszűrők alkalmazásával, vagy különböző színű lézer fényforrások segítségével.
- A plánparalel lemez okozta fénytörés (általános iskolában) tanulókísérletként is elvégezhető az ún. gombostűs kísérlet segítségével. Ezeknek a kísérleteknek az az alapja, hogy a természetes megvilágítás diffúz, így két pont rögzítésével mindig kiválaszthatunk egy megfelelő fénysugár-irányt. Ebben a kísérletben az irányt két letűzött gombostű segítségével rögzítjük. A gombostűs kísérlet során egy vízszintesen álló, fehér papírral fedett hungarocell táblára helyezzük a plánparalel lemezt (vagy trapéz alapú prizmát), majd két gombostűt szúrunk le: egyiket a lemez mellett, az ábrán B-vel jelölt pontba, a másikat ettől távolabb. Ezzel rögzítettük az AB sugárirányt. Ha ezután a másik oldalról a lemezen keresztül egy szemmel úgy nézzük az A-ba és B-be helyezett tűket úgy, hogy azok fedjék egymást, akkor szemünket a kitűzött sugár irányába helyeztük. Helyezzünk el további két gombostűt a lemez szem felöli oldalán úgy, hogy mind a 4 gombostű fedje egymást, azaz egy egyenesbe esőnek lássuk a tűket (C és D pontok). Ezáltal a fény haladási irányának változását rögzítettük. A papíron berajzolva az AB és CD egyeneseket a plánparalel lemez eltolásának mértéke meghatározható. A módszerrel akár prizmán áthaladó fény sugármenete is vizsgálható.



- Plánparalell lemezhez jutunk, ha pl. szigetelőszalaggal egymáshoz rögzítünk több mikroszkóp-tárgylemezt vagy vastag plexidarabot.

g) Gyűjtő- és szórólencse fő sugármeneteinek bemutatása

A kísérlet célja

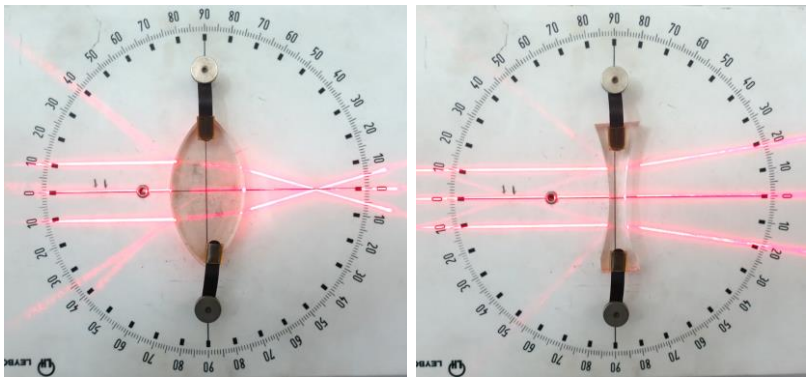
Gyűjtő- és szórólencsék képalkotásának megértéséhez a sugármenetek bemutatása. A kísérlet segít a gyűjtő- és szórólecse által alkotott kép megszerkesztésében

Szükséges anyagok, eszközök

- többszörös LÉZER fényforrás (pl. RayBox LASER), vagy fehér fény használata esetén: lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve), kondenzor, diafragma, gyűjtőlencse (f = 12 cm) (párhuzamos fénynyaláb előállításához, a 8.1/b összeállítás szerint)
- Hartl-féle korong (fehér fény esetén szimpla rés és többszörös rések, kartonlapból elkészítve)
- gyűjtő- és szórólencsék (különböző görbületi sugarakkal)

Leírás

A Hartl-korongra úgy szereljük a különböző lencséket, hogy azok középpontja egybeessen a Hartl-korong középpontjával. Ha helyesen tettük fel a lencsét, akkor a 0°-0° nyaláb nem szenved irányváltoztatást, és a lencse tengelye merőleges a 0°-0° irányra. Ha a lencsehibákra nem szeretnénk kitérni, akkor a lencséket 3 fénynyalábbal világítsuk meg, melyek közül a középső irányváltoztatás nélkül haladjon át a lencsén. Ha a lencsehibákról is szeretnénk beszélni, akkor a lencsét 5 fénynyalábbal világítsuk meg úgy, hogy legalább az egyik nyaláb a lencse szélső részén haladjon át.



Feladatok

- Méréssel határozzuk meg egy gyűjtő- és egy szórólencse fókusztávolságát!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Melyek a nevezetes sugármenetek gyűjtő- valamint szórólencse esetén?
- A kísérlet során sokszor a homorú és domború tükör képalkotását is megfigyelhetjük (pl. az itt bemutatott szórólencsés fénykép). Miért?

8.3. Fénytani demonstrációs kísérletek vizeskáddal

a) A fénytörés és a fényvisszaverődés együttes bemutatása, teljes visszaverődés

A kísérlet célja

A fénytörés, fényvisszaverődés és teljes visszaverődés jelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- (zöld) lézer fényforrás
- állítható helyzetű, forgatható tükör (opcionális)
- vizeskád, amely félig van töltve floureszceinnel gyengén festett vízzel; üveglap a kád befedéséhez
- gyufa/gyertya füsthöz

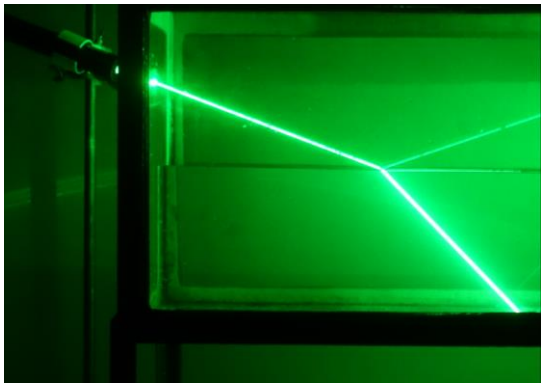
Leírás

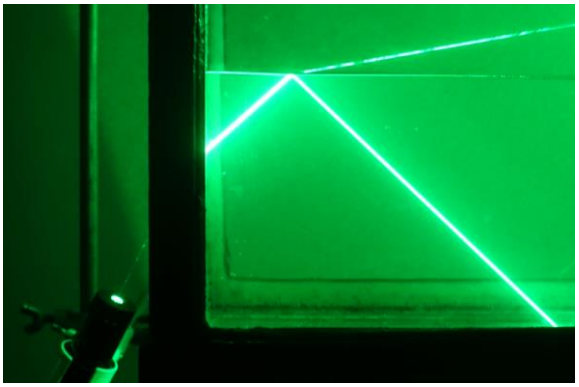
A fénytörés és a visszaverődés együttes bemutatására célszerű egy régi akváriumkádat használni. Ezt töltsük kb. félig floureszceinnel gyengén festett vízzel. (Ha nincs kéznél floureszcein, használhatunk kevés szappant is a fény útjának láthatóbbá tételére.) Megvilágításhoz használhatunk lézer fénynyalábot (egyszerűbb), vagy párhuzamos fénynyalábot, melyet az 8.1/b kísérlet szerint hozzuk létre diafragma helyett rés segítségével.

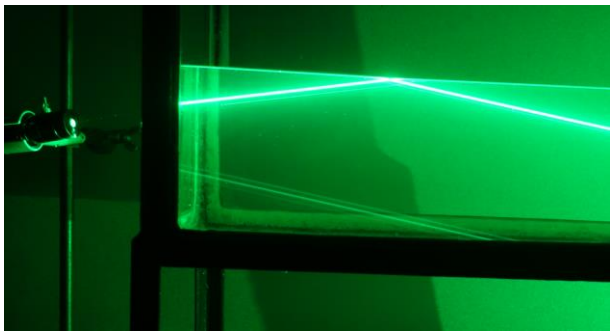
Lézer fényforrás esetén a lézert (a kád fölött) Bunsen-állványba fogjunk. Fehér fény esetén az az 8.1/b kísérlet alapján létrehozott fehér nyalábot a kád fölött a Bunsen-állványba fogott, vízszintes tengely körül elforgatható síktükörre irányítjuk, mely a fénynyalábot a vízbe vetíti. A beesési szöget a tükör elforgatásával változtathatjuk.

A kádat az üveglappal részlegesen befedjük, s kevés füstöt fújunk be, vagy hozunk létre kialvó gyufaszál segítségével a fedőüveg alatt. Így a fény útja levegőben és vízben egyaránt jól látható lesz, s a levegőből vízbe való átlépéskor a törés és a visszaverődés is jól megfigyelhető.

Vízből levegőbe való törést, és megfelelő határszög átlépésekor a teljes visszaverődést is könnyen demonstrálhatjuk. Ehhez a kádat lézerrel oldalról, a vízszint alól ferdén világítsuk meg. Fehér fény használatakor a forgatható tükör segítségével tudjuk a fénynyaláb beesési szögét változtatni.







Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan függ a visszavert fénynyaláb erőssége a beesési szögtől?
- Hogyan függ a teljes visszaverődés határszöge a beeső fény hullámhosszától?
- Miért lesz jobban látható a fény útja, ha füstöt fújunk a levegőbe?

Módszertani kiegészítések

- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan meglepő, szép és szemléletes videókat bemutatni

Fata morgana az óceánon

Teljes szivárvány

- A törési törvények önmagukban nem izgalmasak. A diákok érdeklődésének felkeltésére érdemes olyan példákat hozni, amivel a hétköznapokban is találkozhatnak, de magyarázatukat nem értik: szívószál megtörni látszik a pohárban, ha bizonyos irányból nézzük, vagy hogy a tó feneke közelebbinek látszik, mint amilyen valójában. Ezek érzékletes bemutatása után rá lehet térni a mérésre és annak magyarázatára.

b) Levegőlencsék fénytörése víz közegben

A kísérlet célja

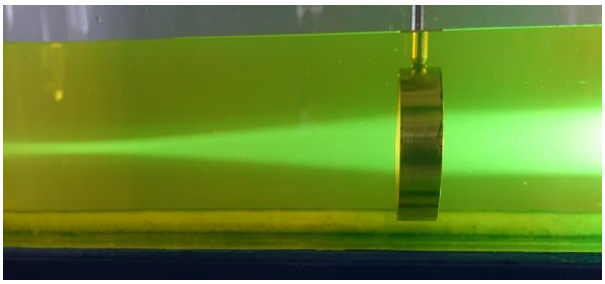
A lencse alakjából önmagában még nem következtethetünk a fény útjára: a domború lencse nem mindig gyűjtőlencse. Ez a kísérlet a lencse és a közeg anyagának egymáshoz viszonyított törésmutatójának fontosságát mutatja be.

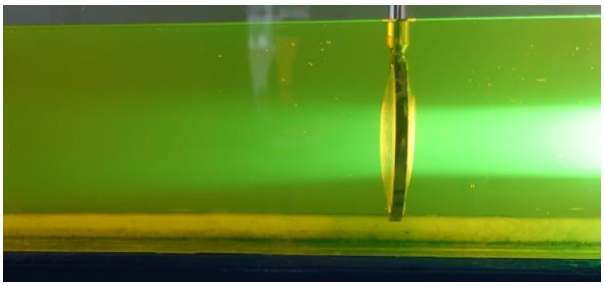
Szükséges anyagok, eszközök

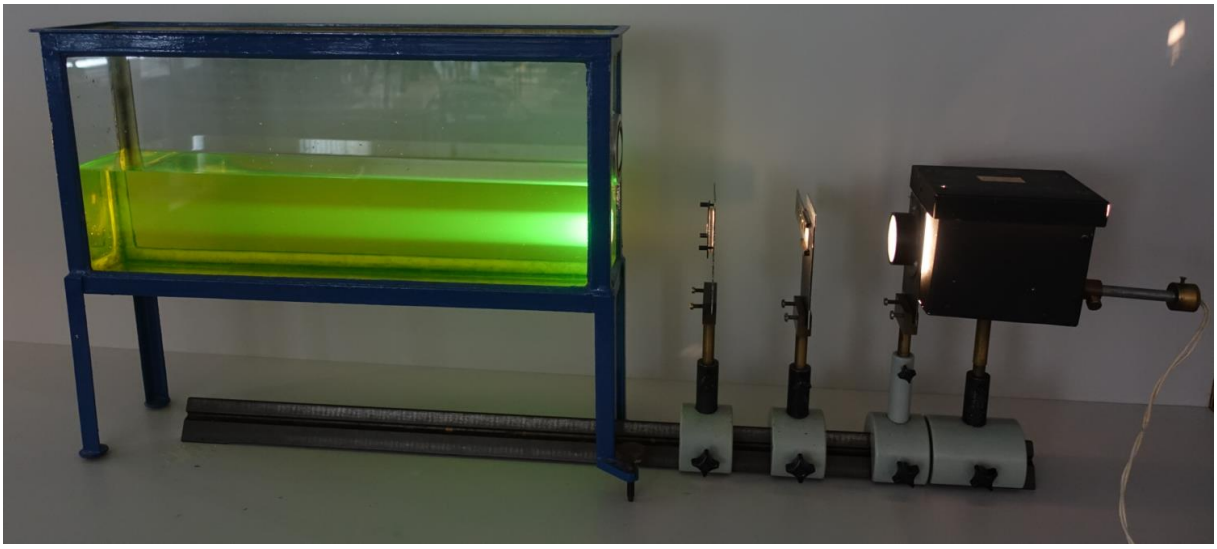
- lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- kettős kondenzor lencse (f = 5 cm)
- szűk környílás (diafragma) d = 2-3mm
- gyűjtőlencse (kétszerdomború vagy síkdomború) f ~ 12 cm
- vizeskád, amely félig van töltve floureszceinnel gyengén festett vízzel
- levegőlencsék (gyűjtő és szóró) (A levegőlencséket két homorú vagy domború oldalukkal egymásnak fordított óraüvegek által képzett levegős üregekből kapjuk.)

Leírás

Világítsuk meg a kádat oldalról a kád falára merőlegesen beeső széles fehér fénynyalábbal, úgy, hogy a nyaláb átmenjen a vízbe lógatott levegőlencséken. Melyik levegőlencse lesz a gyűjtő, és melyik a szóró?







8.4. Tükrök leképezésének demonstrálása

a) A síktükör leképezési törvényének demonstrálása

A kísérlet célja

A tükörrel történő képalkotás tudatos vizsgálatához segítséget adó egyszerű kísérlet

Szükséges anyagok, eszközök

- Két gyertya, gyufa
- Függőleges helyzetű üveglap (kis állványban)

Leírás

A síktükör valódi tárgyról csak virtuális képet ad. A kép a tükör mögött keletkezik, és a tárgytávolság megegyezik a képtávolsággal ($t = k$). Ezt igazolhatjuk egy tükörként alkalmazott átlátszó üveglemezzel, amelyet az asztalra merőlegesen élére állítunk, s oldalról rögzítjük Bunsen-fogóval vagy valamilyen állvánnyal. Az üveglap elé és mögé is helyezzünk egy-egy azonos méretű gyertyát. Az elől levőt meggyújtjuk, s a másikat az égő gyertya tükörképébe helyezzük. Elölről nézve úgy látszik, mintha a hátul levő gyertya is égne. Megállapítható, hogy a tükröző felülettől mérve a két gyertya távolsága azonos ($t = k$).

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mennyinek vehetjük egy síktükör fókusztávolságát?

Módszertani kiegészítések

- A kísérletet érdemes fakír trükként bemutatni: fordítsuk az egyik gyertyás oldalával az eszközt a hallgatóság felé. Gyújtsuk meg a feléjük nézőt és játsszuk el, hogy a másikat is meggyújtjuk. Kérdezzük meg, hogy ki meri a lángba beletenni a kezét! Ha senki, akkor mi tegyük a virtuális lángba a kezünket. A látvány jobb enyhén besötétített teremben és fontos, hogy a hallgatóság szemből nézze az eszközt. Nagy szögből feltűnő lehet, hogy az üveg vastagsága miatt két kép látható.

b) Homorú tükör képalkotásának bemutatása

A kísérlet célja

A kozmetikai tükör/ borotválkozó tükör leképezését szemléltető kísérletek segíthetik a homorú tükör viselkedésének jobb megértését

Szükséges anyagok, eszközök

- homorú tükör
- gyertya (állványon), gyufa
- mérőszalag
- ernyő

Leírás

Keressük meg a homorú tükör fókuszát! A fókusz meghatározásához használjunk egy zseblámpát: a tükröt távolról megvilágítva keressük meg tenyerünkkel azt a helyet, ahol a tükörről visszavert nyaláb átmérője a legkisebb, majd mérjük meg ennek a pontnak (az optikai tengelyen) a tükörtől vett távolságát. Ezután tárgyként pl. kis optikai asztalra helyezett égő gyertyát alkalmazva, helyezzünk a gyertyát a tükör fókusztávolságán kívülre, de a kétszeres fókuszon belülre. Ekkor valódi, fordított állású, nagyított képet kapunk, amely ernyőn felfogható. Helyezzük ezután a gyertyát kétszeres fókusztávolságra. Ekkor a kép a tárggyal azonos helyen keletkezik, kétszeres fókusztávolságban. Távolítsuk tovább a gyertyát! Ekkor valódi, fordított állású, kicsinyített képet foghatunk fel az ernyőn. Ekkor figyelni kell, hogy az ernyő ne takarja ki a gyertyát! Ehhez a gyertyát és az ernyőt ki kell mozgatni az optikai tengelyből.

Ha a gyertyát a fókuszon belülre helyezzük ($t < f$), virtuális, ernyőn fel nem fogható , egyenes állású képet kapunk.

Feladatok

- Határozzuk meg a tükör fókusztávolságát a leképezési törvény segítségével, valódi kép létrehozásával. A méréshez használjunk három különböző helyzetet ($t > f$), és mérőszalaggal mérjük meg a tárgy- és a képtávolságokat! A leképezési törvénybe $\left(\frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k}\right)$ behelyettesítve kiszámolhatjuk a tükör fókusztávolságát.

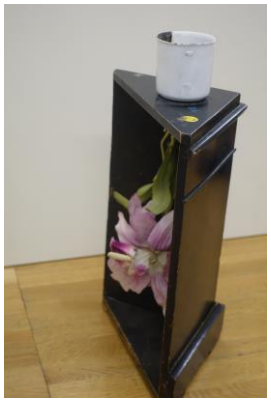
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

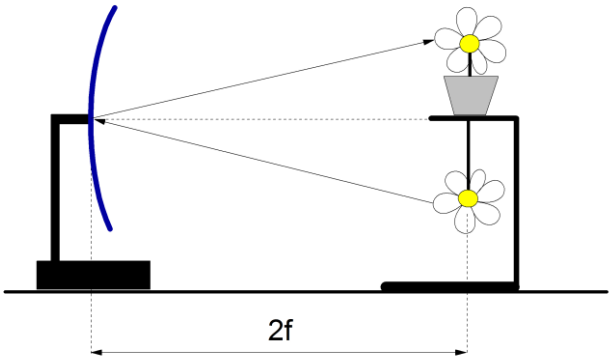
- Melyek a homorú tükör nevezetes sugármeneteit?
- Készítsünk ábrát a kétszeres fókuszba helyezett tárgy homorú tükörrel történő képalkotásáról!

- Milyen a homorú tükör által alkotott kép? (kicsinyített/nagyított; egyenes/fordított állású; valódi/virtuális) Hogyan függenek a kép tulajdonságai a tárgytávolság és a fókusz viszonyától? ($t < f$, $t = f$, $f < t < 2f$, $t = 2f$, *és* $2f < t$)
- Milyen gyakorlati alkalmazásoknál használnak homorú tükröt? Mondjunk példát $t < f$ és $t > f$ esetre is!

Módszertani kiegészítések

- A homorú tükör leképezését használja ki az alábbi trükkös kísérlet, az ún. virágcsokros kísérlet, amelyre a diákok sokáig szoktak emlékezni. A „trükk" azt használja ki, hogy a homorú tükör kétszeres fókuszpontjába helyezett tárgyról a tükör ugyanazon pontba ellentétes állású képet hoz létre.
  Nagy homorú tükör kétszeres fókuszába helyezzünk el egy fél dobozt, melynek nyitott része a tükör felé néz. A fél doboz belső tetejéről (a doboz belsejébe) lógassunk le egy virágcsokrot (vagy egy égő izzót), a doboz külső tetejére pedig helyezzünk egy (üres) virágcserepet (vagy egy üres foglalatot). A tükör megfelelő beállításával elérhető, hogy a virágcsokorról (izzóról) az azonos nagyságú, fordított állású reális kép éppen az üres cserép (foglalat) felett keletkezzék. Így, ha szembenézünk a tükörrel, úgy látjuk, mintha az üres cserépben ott lenne egy virágcsokor (foglalatban égne az izzó). Ha a virágcsokrot szeretnénk leképezni, akkor a dobozban lógó csokrot meg kell világítani (például egy asztali lámpával). Az égő izzó esetén ez nem szükséges. A kísérletet úgy érdemes bemutatni, hogy először a diákok pont a tükörrel szemben állva pillantják meg a kísérletet. Érdemes elterelni a figyelmüket azzal a kérdéssel, hogy a feladat annak megmondása, hogy milyen virág van a vázában, vagy hány wattos a foglalatban lévő villanykörte. Általában ilyenkor fel sem tűnik nekik a csapda. Ezután egy lépéssel arrébb lépve, döbbenten látják, hogy nincs virág a cserépben (vagy égő a foglalatban).





c) Domború tükör képalkotásának bemutatása

A kísérlet célja

A közlekedésből ismert domború tükör leképezését szemléltető kísérletek segíthetik a domború tükör viselkedésének jobb megértését

Szükséges anyagok, eszközök

- domború tükör

- gyertya (állványon), gyufa

Leírás

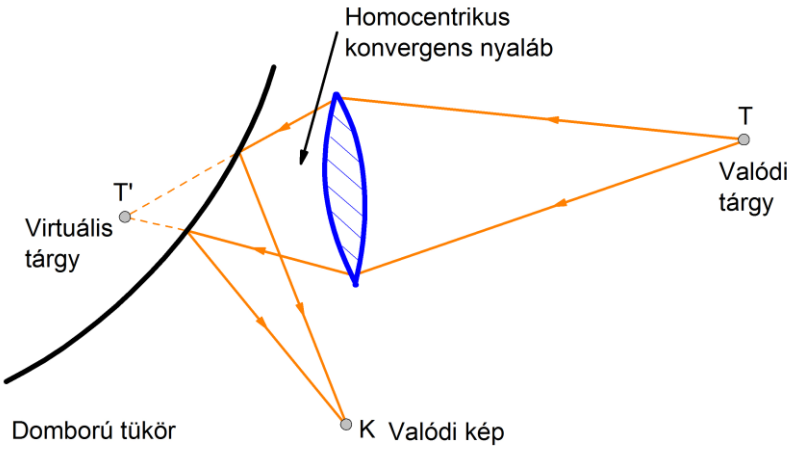
Helyezzük a gyertyát a domború tükör elé, tetszőleges helyre, de közel a tükör optikai tengelyéhez. A domború tükör valódi tárgyról kicsinyített, egyenes állású, virtuális képet alkot.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Melyek a domború tükör nevezetes sugármenetei?
- Milyen a domború tükör által alkotott kép? (kicsinyített/nagyított; egyenes/fordított állású; valódi/virtuális) Hogyan függenek a kép tulajdonságai a tárgytávolság és a fókusz viszonyától?
- Hogyan hozhatunk létre domború tükör segítségével valódi, ernyőn is felfogható képet? Mit jelent a virtuális tárgy fogalma? Hogyan hozható létre?
- Milyen gyakorlati alkalmazásoknál használnak domború tükröt?

Módszertani kiegészítések

- Domború tükör segítségével is előállíthatunk valódi képet. A domború tükör ugyanis valódi tárgyról virtuális képet, virtuális tárgyról pedig valódi képet hoz létre. A virtuális tárgyat a következőképp állíthatjuk elő: egy 10-15 cm fókuszú gyűjtőlencsével állítsuk elő egy gyertya valódi képét úgy, hogy a tükör közelebb legyen a lencséhez, mint a képtávolság. Ha a tükröt ezután kissé elforgatjuk, akkor a gyertya képe ernyőn felfogható, mivel a visszavert fény így már a gyűjtőlencse mellett halad el.



8.5. A domború lencse fókusztávolságának meghatározása ún. Bessel-módszerrel

A kísérlet célja

A lencse fókusztávolságának meghatározása

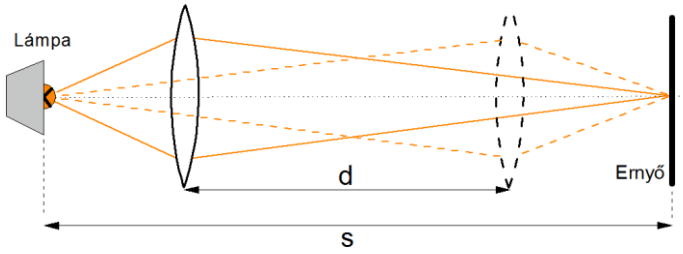
Szükséges anyagok, eszközök

- kb. 20 cm fókusztávolságú gyűjtőlencse üvegből vagy műanyagból
- fehér papír vagy pausz ernyő
- asztali lámpa 25 W-os izzóval
- mérőszalag

Leírás

A fókusztávolság meghatározására alkalmas kísérleti módszer az ún. Bessel-módszer, amelynek lényege a következő. A tárgyat (lámpa izzószála) és az ernyőt egymástól alkalmas távolságban (kb. *1 m*) rögzítjük, a távolságot (s) lemérjük és a továbbiakban nem változtatjuk. Megkeressük a tárgy és az ernyő között azt a lencsehelyzetet, amelynél éles nagyított képet látunk az ernyőn. Ezután a lencsét eltoljuk az ernyő felé addig, míg a tárgy éles, kicsinyített képe meg nem jelenik. A lencse elmozdításának távolságából (d) kiszámítható a lencse fókusztávolsága:

$$f = \frac{(s+d)\cdot(s-d)}{4s}.$$



Módszertani kiegészítések

- A Bessel-módszerrel kapott fókusztávolság pontosabb, mint amit közvetlenül kapnánk a leképezési törvény alapján, mérve a kép- és tárgytávolságot. Ez utóbbiak mérése ugyanis nem egyszerű a lencse görbülete miatt.

8.6. Optikai eszközök modelljeinek összeállítása

a) Mikroszkóp modell

A kísérlet célja

Mikroszkópok működési elvének megismerése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Kettős kondenzor lencse (f = 5 cm)
- Gyűjtőlencse (2 db, f = 10 cm)
- Tárgyak (drótkeret, ecset, madártoll)
- Pausz ernyő
- Optikai sín (5 db lovas, 5 db T tartó)

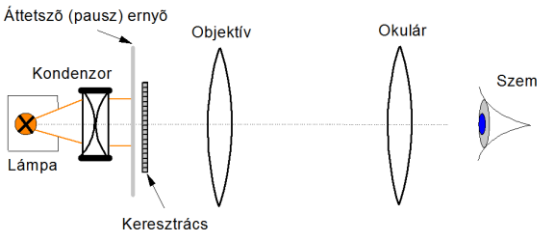
Leírás

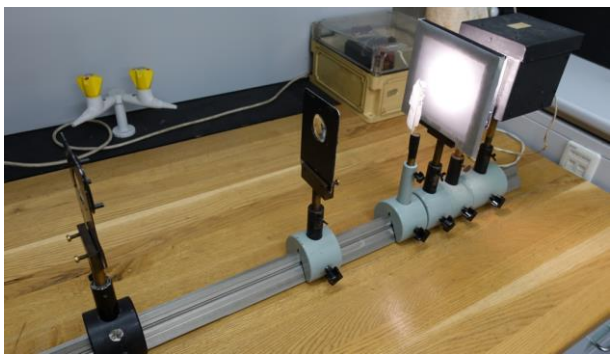
A modell egyszerű optikai padon összeállítható. Objektív (tárgy) és okulár (szem) lencseként egyaránt f = + 10 cm. gyújtótávolságú gyújtólencsét alkalmazzunk. Állítsuk be a két lencsét úgy, hogy távolságuk

$$d > f_1 + f_2 \qquad (d = f_1 + f_2 + \Delta d)$$

legyen (ahol Δd kicsi). Tárgynak használhatunk kezdetnek egy drótkeretet (majd ecsetet, madártollat stb.), amelyet átmenő fénnyel világítunk át. Érdemes a tárgy és kondenzor közé egy áttetsző papírlemezt (pausz ernyőt) helyezni, mely csökkenti a kép vakító fényességét. Az elrendezés a lenti ábrán látható.

Állítsuk élesre a képet a tárgy mozgatásával. A tárgytávolságot és a tubushosszt (d) ki kell kísérletezni ahhoz, hogy torzításmentes nagyított képet kapjunk.





b) Galilei- és Kepler-távcső modellje

A kísérlet célja

A Galilei- és Kepler-távcső működési elvének megismerése, használatuk gyakorlása.

Szükséges anyagok, eszközök

- rövid, fa optikai sín
- Gyűjtőlencse (1 db f = 10 cm, 1 db f = 20 cm, 1db f = 5 cm)
- Szórólencse (1db f = -5 cm)

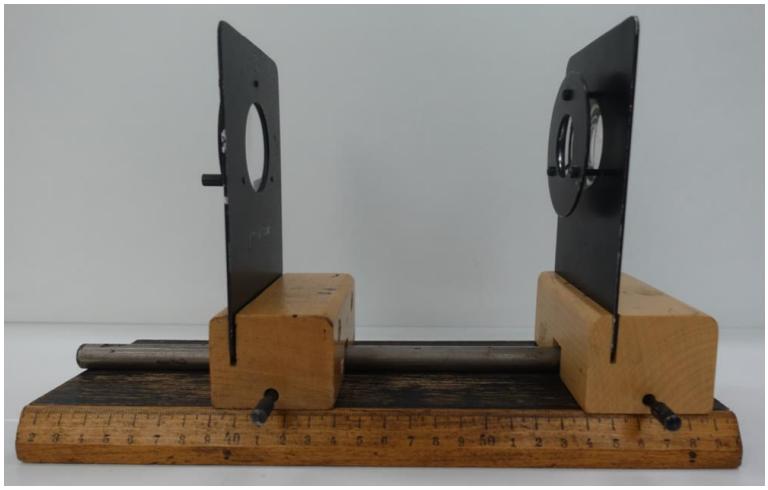
Leírás

A távcsövek egyszerű modelljeit rövid fa optikai padon állítsuk össze, hogy könnyen mozgatható legyen.

A Galilei-távcső két lencséből áll, egy nagyobb fókusztávolságú gyűjtő- (objektív, f = 20 cm) és egy kisebb fókusztávolságú szórólencséből (okulár, f = -5 cm). Állítsuk be úgy őket, hogy a lencsék távolsága

$$d = |f_{obj}| - |f_{ok}|$$

legyen. Nézzünk bele az okulár lencsébe és figyeljünk meg egy távoli tárgyat. A kép élesre állítását d hangolásával érhetjük el. Egyenes állású nagyított képet láthatunk.



A Kepler-távcső is két lencséből áll, egy nagyobb (objektív, f = 20 cm) és egy kisebb (okulár, f = 5 cm) fókusztávolságú gyűjtőlencséből. Állítsuk be úgy őket, hogy a lencsék távolsága

$$d = f_{obj} + f_{ok}$$

legyen. Nézzünk bele az okulár lencsébe és figyeljünk meg egy távoli tárgyat. A kép élesre állítását ennél az eszköznél is d hangolásával végezhetjük. Fordított állású nagyított képet láthatunk.

Vigyázat!

A sínre a lovasok rögzíthetőek, de lencsék könnyen kicsúsznak a foglalatból. Ha mozgatjuk az eszközt, akkor ne döntsük meg túlzottan!

Módszertani kiegészítések

- A távcsövek nagyítását a lencsék fókusztávolságának aránya adja. Ezt ellenőrizhetjük kísérletileg, ha kicseréljük az objektívet 10 cm-es fókusztávolságú lencsére és megvizsgáljuk a nagyítás változását.

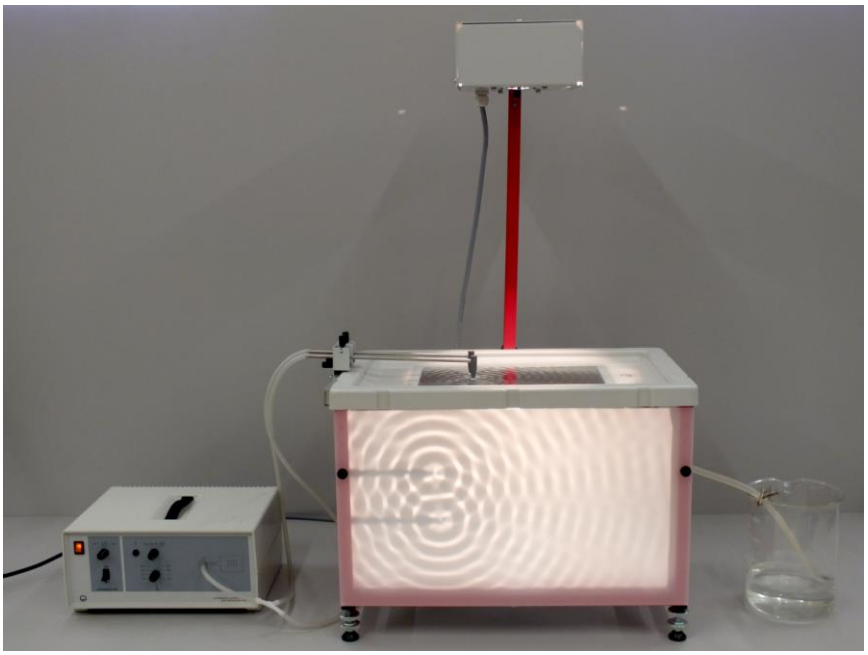
8.7. Kísérletek hullámkáddal

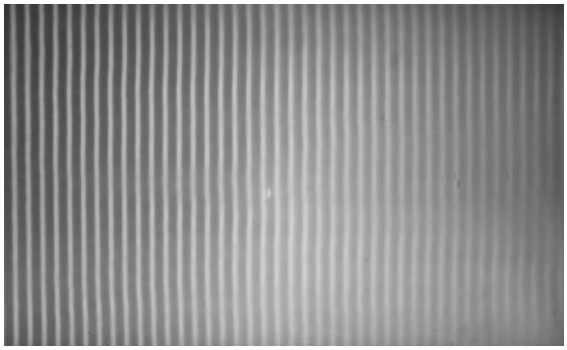
A kísérletek célja

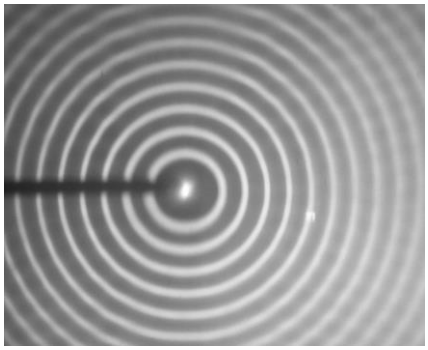
Hullámtulajdonságok szemléletes bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

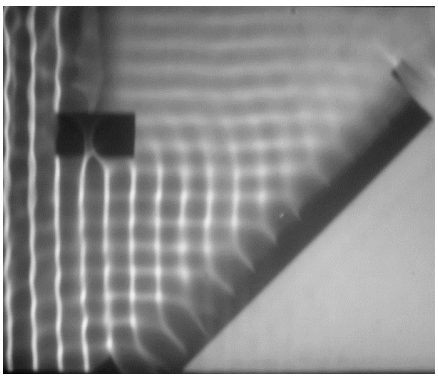
- Hullámkád stroboszkóppal
- Hullámkádba való hullámforrások, „akadályok”
- Víz, injekciós tű (a finom adagoláshoz)







a) Hullámok visszaverődése síkfelületről



Leírás

A hullámok útjába helyezzünk egyenes felülettel határolt akadályt. Figyeljük meg a vetített képen a visszaverődő hullámokat. A kísérletet végezzük el kör- és egyenes hullámokkal is! Megfigyelhetjük, hogy a hullámok szabályosan verődnek vissza, vagyis a beeső és visszavert hullámfrontok azonos szöget zárnak be az akadállyal, illetve

a beesési merőlegessel. A megfigyelést nehezíti, hogy az akadályról visszaverődő, és az arrafelé haladó hullámok interferenciáját látjuk, ezt azzal védhetjük ki, ha egy plusz akadállyal eltakarjuk a bejövő hullámokat. Használhatunk más alakú akadályokat is: például a parabola alakú akadály a tengelyére merőleges egyenes hullámokat egy pontba gyűjti össze

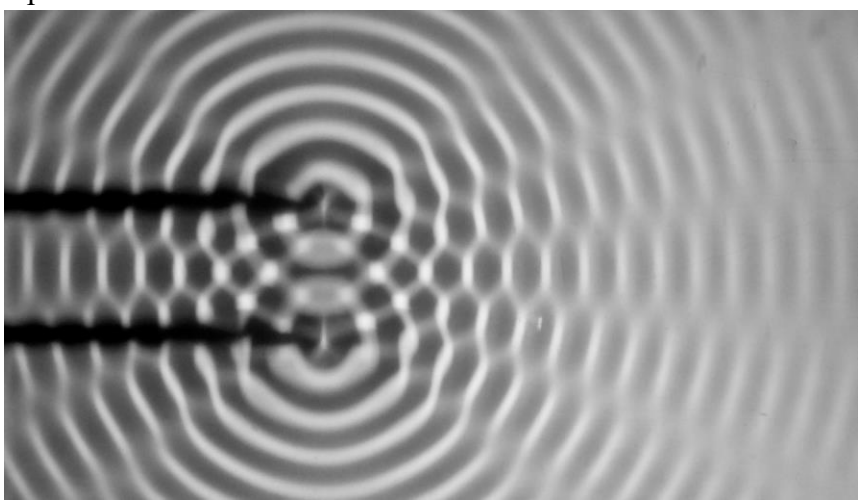
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Milyen hullámokat várunk, ha a pontszerű hullámforrást a parabola alakú akadály gyújtópontjába helyezi?

b) Körhullámok interferenciája

Leírás

Interferencia figyelhető meg, ha a találkozó két – vagy több – hullám koherens – azaz fáziskülönbségük időben állandó. Felületi hullámok esetében interferencia a hullámkádban legegyszerűbben úgy valósítható meg, ha a hullámok két, szinkronban rezgő forrásból származnak. Az ábrán főként a kioltási helyek megfigyelhetők meg – itt nincsenek hullámok, így árnyék sem. Ezek egy-egy hiperbola íven helyezkednek el, ahol a hullámok útkülönbsége a félhullámhossz páratlan számú többszörösei.



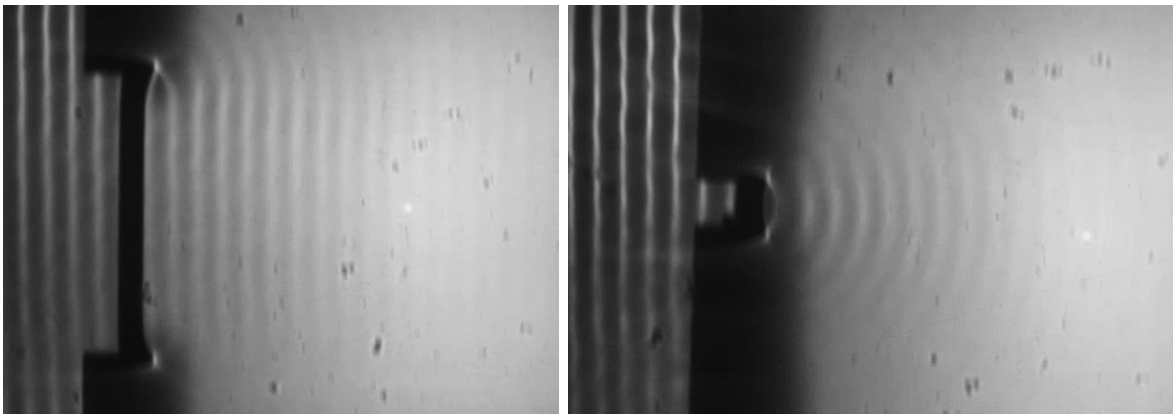
Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A frekvencia, vagy a források távolságának növelésével hogyan változik a kioltási vonalak közötti távolság?

c) Hullámok elhajlása résen

Leírás

Helyezzünk egyenes hullám útjába két akadályt, melyek közötti résen áthaladhat a hullám. Állítsuk be a rés szélességét először a hullámhossznál jóval nagyobbnak, majd a hullámhossznál kisebbnek. Széles rés esetén az akadályok mögött éles árnyéktér található. Szűk rés esetén az elhajlás szinte teljes, vagyis a hullám az akadály mögé teljesen behatol, ám amplitúdója erősen csökken.



Módszertani kiegészítések

- Elvileg, ha a rés szélessége a hullámhossz néhányszorosa, akkor a hullámok szélei „elgörbülnek”, és a hullám kissé behatol az akadály árnyékterébe, s az előző mérésben látható interferencia-mintázat alakul ki. Sajnos ezt ritkán sikerül meggyőzően megmutatni ezért érdemes a nagyon tág és nagyon szűk nyílás esetét bemutatni.
- A szűk nyílás esetén lehet bevezetni a Huygens- és Huygens–Fresnel-elvet. ami a diffrakciós kísérletek magyarázatának alapja.

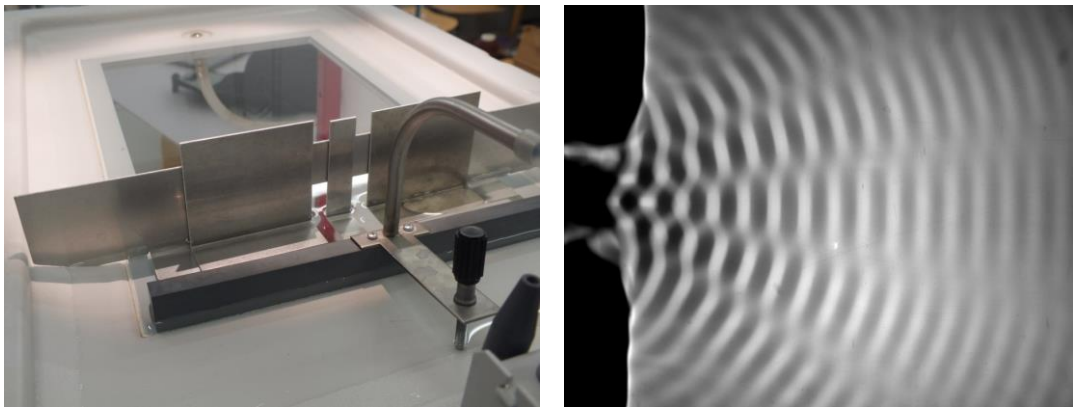
d) Hullámok elhajlása kettős résen

Leírás

Helyezzünk egyenes hullám útjába három – két nagyobb és középen egy kicsiny – akadályt, melyek közötti réseken áthaladhat a hullám. Figyelje meg a rések mögött kialakuló mintázatot!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Melyik korábbi kísérletben kapunk hasonló mintázatot? Mi a hasonlóság magyarázata?
- Milyen mintázatot vár az akadályok mögött kialakulni, ha a bejövő hullámok nem egyenes, hanem kör hullámok?



Módszertani kiegészítések

- A kettős résen megfigyelhető interferencia az egyetlen, amit középiskolás szinten is meg lehet érteni, hiszen ebben az esetben csak két szinkronban működő pontforrás interferenciáját kell felírni. Ebben az esetben a maximális erősítési és kioltási pontokat

is ki tudjuk számolni. A többi esetben (rés, rács, drót, stb) ugyanerre a gondolatmenetre vezetjük vissza a levezetéseket, pedig vegyük észre, hogy cseppet sem triviális, hogy egy dróton elhajló hullám képe lényegében úgy leírható, mint a két oldalán szinkronban működő pontforrások interferenciája.

- A hullámkád segítségével víz felszínén keltett – megközelítőleg – harmonikus transzverzális hullámokat tanulmányozhatunk. A beépített lámpa segítségével a hullámtér képe kivetíthető a függőleges ernyőre – vagy akár falra. A megvilágítás stroboszkóppal történik, melynek frekvenciát szabályozhatjuk, így a hullámok frekvenciájával történő megvilágítás esetén „megállítható" a kép. A vetített képen láthatók a hullámfrontok, melyek pontszerű hullámforrás esetén koncentrikus körök, egyenes hullámforrás esetén pedig párhuzamos egyenesek. A hullámfrontok távolsága a hullámhossz, ami a hullám frekvenciájától és a hullám adott közegbeli terjedési sebességétől függ ($c = \lambda f$). A terjedési sebességet a vízmélység állításával lehet szabályozni. Mélyebb vízben a terjedési sebesség nagyobb, s így a hullámhossz is nagyobb.
- Érdemes a kísérlethez kapcsolódóan meglepő, szép és szemléletes videókat bemutatni. Valamint, ha az iskola nem rendelkezik működő hullámkáddal, érdemes a második hivatkozáson elérhető szimulációt használni.

Interferencia tavon

Hullámkád szimuláció

8.8. Réselhajlási jelenség bemutatása

A kísérlet célja

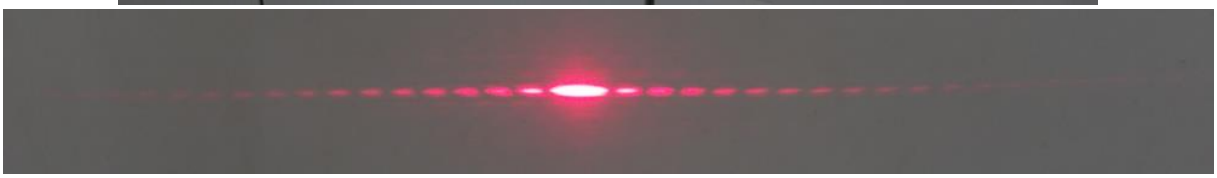
A hullámkádas kísérletek esetén is látható, hogy keskeny résen történő elhajlás esetén létrejön interferenciamintázat. A jelenség természetesen fényhullámok esetén is látható, sőt, a hullámkádas esetnél talán még jobban is.

Szükséges eszközök

- Lézer fényforrás
- Változtatható szélességű rés
- Ernyő (zsírpapír), (esetleg optikai pad)

Leírás

A kísérlet sikerének feltétele, hogy a rés szélessége lehetőleg kicsi legyen. A lézernyalábbal – monokromatikus fénnyel – a rést merőlegesen világítsuk meg, s az ernyőt a réstől kellő távolságban – kb. 1 m – helyezzük el. Az ernyő persze ne legyen túl távol a réstől, mert akkor a fényintenzitás olyan alacsony lehet, hogy a jelenséget nem lehet szabad szemmel érzékelni. (Ha a pausz ernyőt alkalmazzuk, célszerű az ernyő nem megvilágított oldaláról megfigyelni a jelenséget.)



Feladatok

- Szűkítsük, majd tágítsuk a rést. Figyeljük meg, hogyan változik az elhajlás mértéke a rés méretének változása esetén?
- Piros helyett zöld lézert alkalmazva hogyan változik az elhajlás mértéke?

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Fehér fény alkalmazása esetén milyen elhajlási képet kapunk? Miért?

Módszertani kiegészítések

- A jelenség fontosságát az adja, hogy magyarázni csak a fény hullámtermészetével lehetséges!
- Az elhajlás definíciója sok nehézséget szokott okozni, de nem érdemes túlbonyolítani. Elhajlásról akkor beszélünk, ha geometriailag nem várt helyen érzékelünk fényt. Ennek a kifejezésnek a megértéséhez érdemes távolról indulni: Ha besüt a nap egy ablakon, akkor élesen látjuk a körvonalait. Ott van fény, ahol átsüt az ablakon és ott nincs, ahol a keret eltakarja. Az árnyéktér jól leírható egyszerű geometriával. Ha szűkítjük az ablakot, akkor azt várnánk, hogy szűkül a megvilágított terület. Ez egy ideig igaz is, de ha nagyon kicsi, résszerű az ablak, akkor már tágul a fényes terület, sőt érdekes mintázat is megjelenik. Ezt jelenti az, hogy geometriailag nem várt helyen van fény (vagy általánosan hullám).
- A réselhajlás jelenségét (és a többi diffrakciós jelenséget) nem érdemes túlmagyarázni. Azt nagyon fontos a diákokban tudatosítani, hogy ez a jelenség akkor lép fel, ha a hullám a hullámhosszúságával összemérhető akadállyal találkozik. Érdeklődő (emelt szintű) osztályban magyarázatként a Huygens–Fresnel-elvet lehet elmondani és segítségével levezetni a Young-féle (kétréses) interferenciát. Utána fel lehet hívni a figyelmet annak érdekességére, hogy a rés, drót, rács elhajlási képének leírása (legalábbis a kioltási és erősítési pontok helyének szintjén) matematikai hasonlóságot mutat.
- A diffrakció bevezetésével érdemes foglalkozni azzal, hogy mit nevezünk geometriai és hullámoptikának, és hol válik el egymástól a kettő. Érdemes kimondani, hogy a geometriai optikára megismert törvények akkor alkalmazható, ha a fény nagy (azaz a hullámhosszúságánál jóval nagyobb) tárgyakkal találkozik.

8.9. Drótszál (vagy tű) elhajlási képének bemutatása

A kísérlet célja

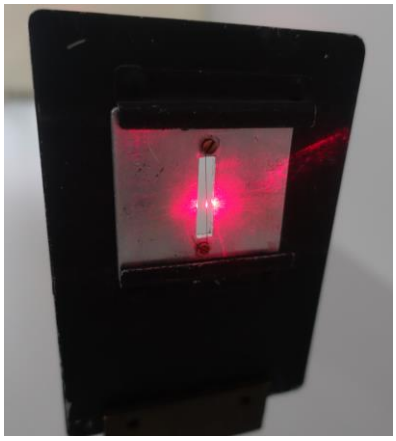
Annak bemutatása, hogy elhajlás nem csak rés esetében, hanem vékony, éles akadály esetén is létrejön.

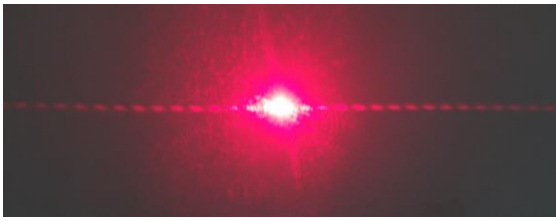
Szükséges eszközök

- Lézer fényforrás
- Vékony drót, tű, hajszál
- Ernyő (zsírpapír), (esetleg optikai pad)

Leírás

Az összeállítás nem különbözik jelentősen a résen való elhajlásétól. A rés helyére helyezze a diakeretbe fogott drótszálat, majd dugóba szúrt tűt.





Feladatok

- Milyen lényeges különbség figyelhető meg a vékony drótszál és a tű megvilágításával nyert mintázatok között?
- Piros helyett zöld lézert alkalmazva hogyan változik az elhajlás mértéke?

Módszertani kiegészítések

- Ennél a kísérletnél, ha matematikailag nem is foglalkoztunk az elhajlás leírásával, akkor is érdemes felírni az erősítési helyek és a drót mérete közötti összefüggést. Ennek oka, hogy az emberi hajszállal is szépen látszik az elhajlás. A képlet lehetőséget nyújthat a diákoknak a hajszáluk vastagságának lemérésére, ami felkeltheti az érdeklődésüket.

8.10. A fényelhajlás jelensége optikai rácson, a fény hullámhosszának meghatározása

A kísérlet célja

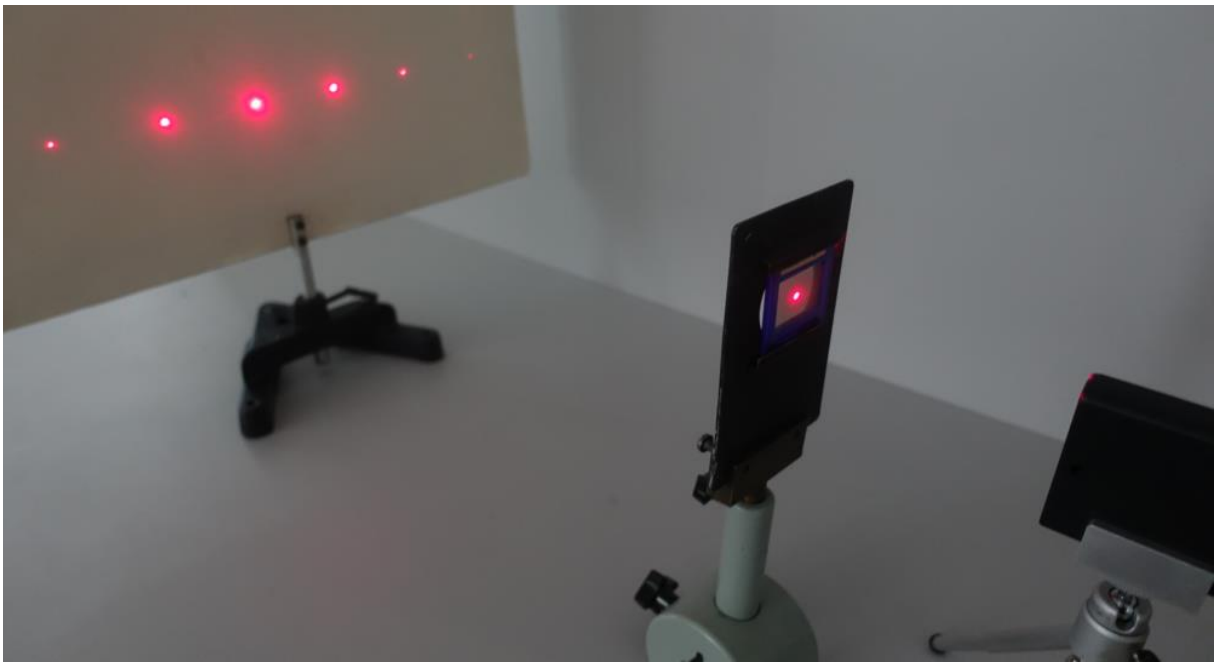
Optikai ráccsal bemutatott fényelhajlási kísérlet segítségével határozza meg a fény hullámhosszát!

Szükséges eszközök

- Kis teljesítményű fénymutató-lézer (háromlábú kisállványon)
- Optikai sín lovasokkal
- Ernyő
- Ismert rácsállandójú optikai rács
- Mérőszalag, vonalzó.

Leírás

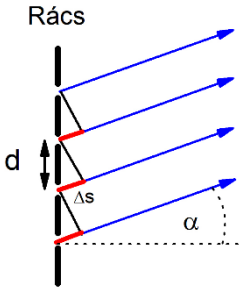
Az ismert rácsállandójú optikai rácsot világítsuk át lézerfénnyel! A lézerfény a rácson áthaladva elhajlik. Az ernyőn szimmetrikusan megjelenő foltok (interferenciamaximumok) sötétítés nélkül is láthatók.



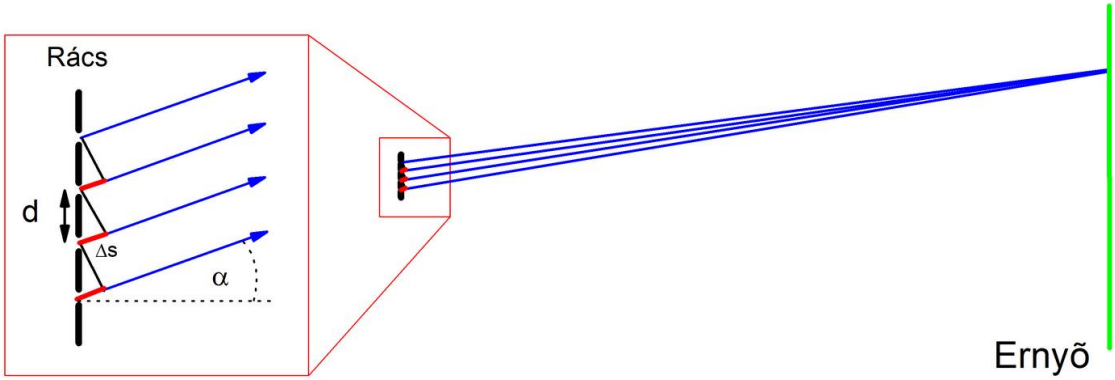
Feladatok

- Mérjük le az optikai rács és az ernyő távolságát, valamint az ernyőn az első elhajlási maximum és a direkt sugár foltjának távolságát!
- A mért hosszúságadatokat és az optikai rács megadott rácsállandóját felhasználva határozzuk meg a lézerfény hullámhosszát!
- A kapott eredményünket vessük össze a piros lézer hullámhosszának irodalmi értékével.

Módszertani kiegészítések



- A kísérlet magyarázatához fűződő klasszikus ábra látható jobbra. Jól bemutatja az elemi hullámok közötti úthosszkülönbségét adott szórási szög esetén, de a diákok számára gyakran okoz nehézséget, hogy látszólag párhuzamos nyalábok interferenciáját számoljuk. A félreértések elkerülése végett érdemes inkább az alsó ábrát felrajzolni. Ennek jobb oldalán látható a hullámok találkozása az ernyőn, de az is érzékelhető, hogy ha a rács közvetlen környezetét nézzük csak, akkor a nyalábok párhuzamosnak látszanak.



8.11. Keresztrácson elhajló fény interferenciaképének bemutatása

A kísérlet célja

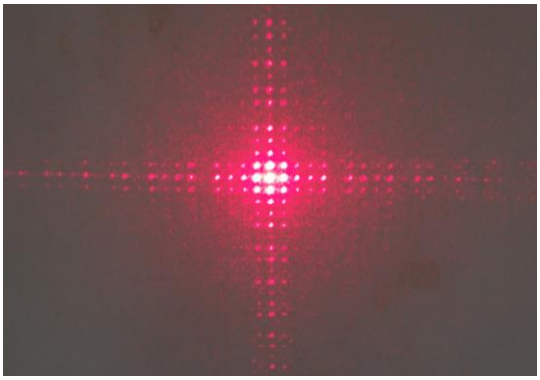
A természetben gyakoribb a „kétdimenziós” fényelhajlás, melynek egy egyszerű és szemléletes esete a keresztrácson történő elhajlás esete.

Szükséges eszközök

- Lézer fényforrás
- Sűrű szövésű fém vagy textil szitaszövet (keresztrács)
- Ernyő (zsírpapír)
- Optikai pad

Leírás

Lézerfénnyel világítsunk meg sűrű fém vagy textil szitaszövetet. Mivel ez a szövet két egymásra merőleges rácsból áll, a kialakuló interferenciakép az optikai „rácshoz” képest kétdimenziós mintázatot eredményez.



8.12. Egy speciális reflexiós rács (CD) "rácsállandójának" meghatározása He-Ne lézerfény elhajlási képéből

A kísérlet célja

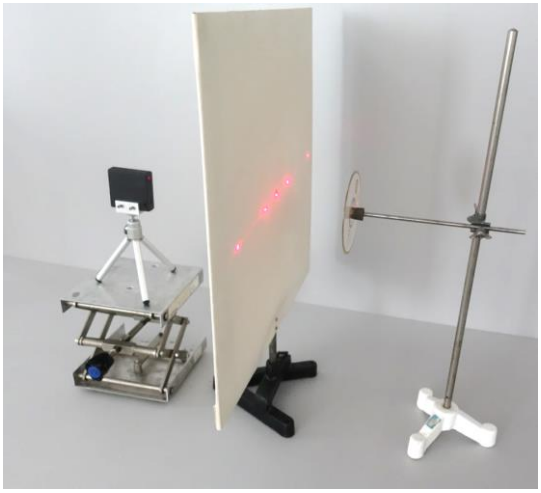
Annak bemutatása, hogy a CD-ről visszavert fénynyaláb a finom rácsstruktúrán elhajlást szenved. Alkalmas elrendezés esetén – ismert hullámhosszúságú fényt használva – a lemez „rácsállandójának” meghatározása.

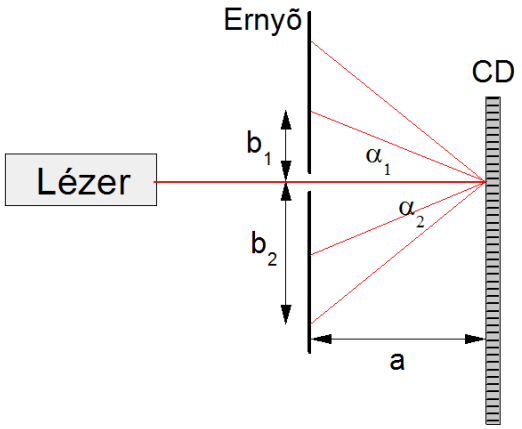
Szükséges eszközök

- Lézer fényforrás
- Lyukkal ellátott ernyő
- CD, dugós állvány
- Mérőszalag / vonalzó

Leírás

A rácsállandó méréséhez állítsuk be a lézermutató vízszintes nyalábjára merőlegesen lyukas ernyőt. A nyaláb haladjon át a lyukon! Rögzítsük a CD-t az ernyő mögött, az ernyővel párhuzamosan! A nyaláb a diszk vízszintes átmérőjére essen! Ilyen elrendezés mellett a CD-n elhajló nyalábok nullad-rendje nagyjából a beeső nyaláb irányába, a többi rend pedig vízszintes síkba verődik vissza. Az ernyőn – a lyukra szimmetrikusan – két elhajlási rend négy fényfoltja jelenik meg, magasabb rendű elhajlást nem tapasztalunk.





Mivel harmadrendű (n=3) elhajlást már nem tapasztalunk, a

$$\sin\alpha_n = \frac{n\lambda}{d}$$

összefüggés alapján arra következtethetünk, hogy a rácsállandó $3\lambda \geq d \geq 2\lambda$ határok között mozog (azaz vörös lézer esetén λ = 652 nm, így 1,95 μm > d > 1,3 μm).

A rácsállandó pontos meghatározásához az $\alpha_{1,2}$ elhajlási szögeket kell megtudnunk. A szögeket tangens értékekből számíthatjuk:

$$\mathrm{tg}\alpha_1 = \frac{b_1}{a} \text{ és } \mathrm{tg}\alpha_2 = \frac{b_2}{a}$$

ahol b_1 és b_2 a nulladrendtől (lyuktól) mért távolsága az egyes rendeknek megfelelő foltoknak, a pedig a diszk és ernyő közötti távolság. Így

$$d = \frac{n\lambda}{sin\alpha_n},$$

ahol n = 1, illetve 2.

Feladatok

- Az első és másodrendű elhajlások segítségével határozza meg a CD „rácsállandóját”!
- Becslési feladat: Legalább hány Mbyte a CD kapacitása? Ennek a kérdésnek a megválaszolásához elsősorban azt kell tudni, hogy hány kis vájat van a CD-n – hiszen a két bites (1 és 0) információt vájat-nem vájat formában könnyen kódolhatjuk. Ehhez kell becsülnünk egy-egy vájat területét ($\approx d^2$) és a CD teljes felületének $A_{CD}=\pi(R^2-r^2)$ nagyságát – ahol R a CD külső r a CD belső sugara. Így a CD kapacitását az alábbi összefüggéssel becsülhetjük:

$$C = \frac{A_{CD}}{d^2}$$

8.13. A leképezés Abbe-elméletének egyszerű demonstrálása

A kísérlet célja

A leképezés Abbe-elméletének megismerése és egyszerű demonstrációja.

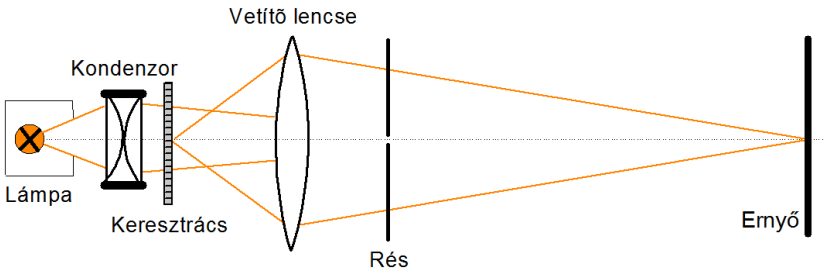
Szükséges anyagok, eszközök

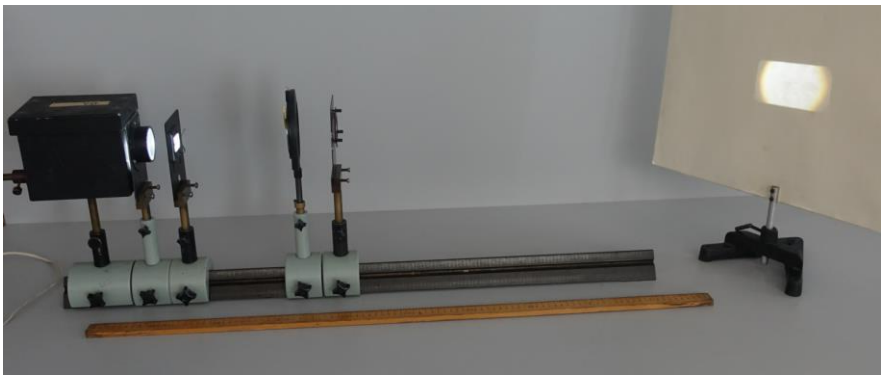
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Kettős kondenzor lencse (f = 5 cm)
- Gyűjtőlencse (f = 10 cm)
- Állítható rés
- Keresztrács diapozitív (üveglemezek közé szorított drótháló)
- Diapozitív tartó lemez
- Optikai sín (5 db lovas, 5 db T tartó)
- Talpas ernyő

Leírás

A fényelhajlás leképezésben betöltött szerepére az Abbe-elmélet mutat rá. Eszerint a megvilágított tárgyakról a leképező eszköz (szem, lencse stb.) oly módon alkot képet, hogy a tárgy apró részletein elhajló nyalábokat egyesíti (interferálja). A kép az interferencia eredménye. Ha tehát a tárgy valamely részletéről csak a „nulladrendben elhajló” (eredeti irányú) nyaláb jut a leképező eszközbe, akkor az eszköz erről a részletről nem alkot képet. A képalkotáshoz az szükséges, hogy a nulladrend mellett még legalább a +1 és a -1 rendben elhajló nyalábok is bejussanak a rendszerbe.

Képezzünk le egy keresztrács szerkezetű drótszitát kb. 1,5 m-re álló ernyőre. A szita vékony szálú, 1-2 mm száltávolságú. Diakeretbe fogva, közvetlenül az 5 cm fókuszú kondenzor után állítsuk. A kondenzor az izzószálat néhány cm-rel a vetítőlencse (f = 20 cm) után képezzük le (lásd ábra).





Helyezzünk a vetítőlencse és az ernyő közé – a lencséhez közel – egy állítható (a kísérlet kezdetén még 3-4 mm széles) rést. A rés a szita egyik szálirányával párhuzamosan álljon. Keressük meg azt a távolságot, amelyre a rést állítva a szita képe változatlanul jól látszik. Most szűkítsük le a rést. A réssel párhuzamos szitaszálak képe eltűnik, a résre merőlegeseké viszont továbbra is jól látszik. Ha a rés a másik száliránnyal párhuzamos, akkor ennek képe tűnik el. A rés lemeze azokat az elhajlási rendeket tartja vissza, amelyeket a vele párhuzamos szitaszálak hoznak létre.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Az Abbe-elmélet alapján becsüljük meg, hogy optikai mikroszkóppal (500 nm-es fényt használva) mi az a legkisebb tárgy, amit még látni lehet, ha az objektívünk átmérője 1 cm és a testet 0,1 mm-re tudja megközelíteni.

8.14. Vetítés Schlieren-módszerrel

A kísérlet célja

A Schlieren-vetítés módszerének megismerése.

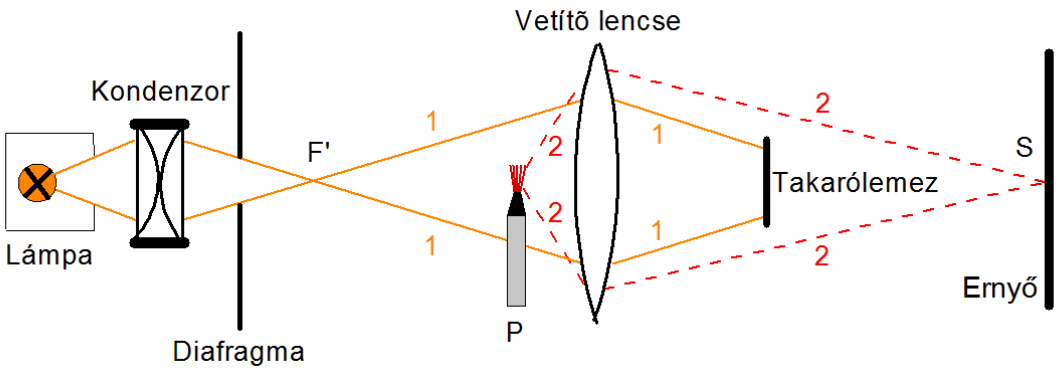
Szükséges anyagok, eszközök

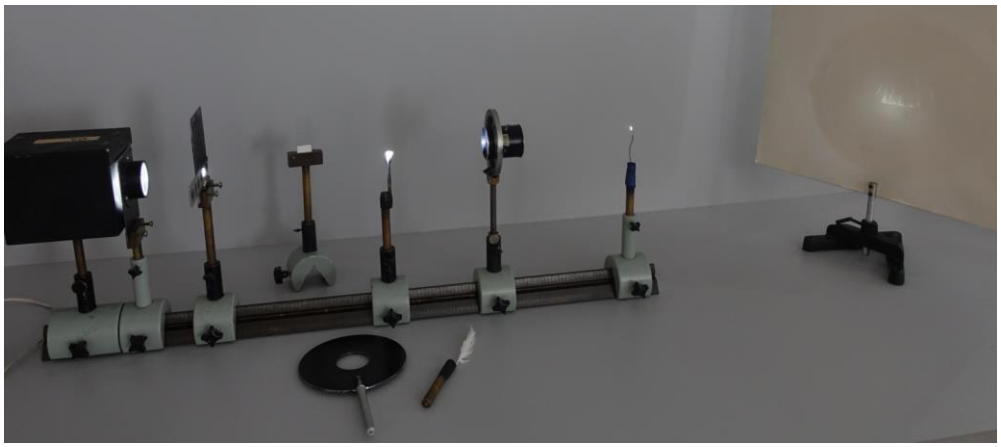
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Kettős kondenzor lencse (f = 5 cm)
- Leybold korrigált vetítőlencse (f = 15 cm)
- Állítható diafragma (azaz lyukblende)
- Tárgyak (ecset, madártoll, küvetta, glicerin, tárgylemez)
- Diapozitív tartó lemez
- Takarólemez (lovasba illeszthető)
- Optikai sín (5 db lovas, 5 db T tartó)
- Talpas ernyő
- Lovasba illeszthető fa asztalka

Leírás

Az átlátszatlan tárgyak széléről elhajlított, esetleg visszavert fénynyalábok indulnak ki. Törésmutató-inhomogenitásokkal rendelkező átlátszó tárgyból a várttól eltérő irányokban is lépnek ki fénynyalábok. Ha az ilyen tárgyat olyan vetítőrendszerbe helyezzük, amelyben a direkt nyalábokat letakarjuk, akkor az eredeti iránytól eltérített nyalábok révén jön létre a leképezés. Ennek következtében az átlátszatlan tárgy széleinek képe sötét látótérben (direkt fény lefedve) világos kontúrokban válik láthatóvá. Ugyanígy átlátszó tárgyban meglevő kis törésmutató-különbségek is kimutathatók (pl. tiszta vizet tartalmazó küvettába vetítés közben sóoldatot vagy glicerint csepegtetünk).

Az ábrán a tárgy nélküli nyalábokat végig 1-es, a tárgyon irányváltozást szenvedetteket 2-es számmal jelöltük. A fényforrásból kiinduló nyalábot a kondenzor a diafragmára irányítja (a nyaláb keresztmetszete a diafragmát teljesen átfedi). A fényforrás képe F'-ben keletkezik. A vetítőlencse a diafragma képét a takarólemezre képezi le. A P tárgyat (jelen kísérletben egy ecset) a vetítőernyő S pontjának környékére vetíti (a 2-es nyalábokkal). A következő ábrán látható a kísérleti összeállítás, valamint a sugármenet elvi vázlata.





Ha a T takarólemez (5-6 mm átmérőjű kis kör alakú lemez) nincs a rendszerben, akkor az ernyőn világos alapon megkapjuk a tárgy (átlátszatlan) árnyékképét (világos látóterű kép). Amennyiben a takarólemezzel a direkt nyalábokat lefedjük (a diafragma éles képe itt keletkezik, tehát a lemez minden direkt nyaláb továbbjutását megakadályozza) a tárgyon elhajló 2-es nyalábok megkerülik az akadályt, és az ernyőn sötét alapon (nincs direkt nyaláb) létrehozzák a tárgy világító képét (sötét látóterű kép).

Feladatok

- Figyeljük meg az ecset és a madártoll világos és sötét látóterű képét. Fogalmazzuk meg a köztük lévő kapcsolatot.
- Érintsük az ujjunkat a tiszta tárgylemez közepéhez (hagyjunk ujjlenyomatot), majd helyezzük tárgyként a vetítő rendszerbe. Figyeljük meg, hogy a sötét látóterű képen milyen szépen kirajzolódik a mintázat.
- Helyezzük az üveg küvettát a tárgy helyére. Rakjuk be a takarólemezt. Ideális esetben nem szabad látnunk mintázatot az ernyőn. Cseppentsünk sóoldatot a vízbe és figyeljük meg a sötét látóterű képét.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Keressünk az interneten alkalmazásokat a Schlieren-módszerre (angolul Schlieren photography, Schlieren imaging) és soroljuk fel a legérdekesebbnek talált 3 alkalmazást. Figyelem! Sokféle Schlieren-vetítési eljárás van. A fentiekben leírt csupán egy fajtája.

8.15. Newton színes gyűrűinek észlelése, kivetítése

A kísérlet célja

Newton-gyűrűk bemutatása visszavert és átmenő fényben.

Szükséges eszközök

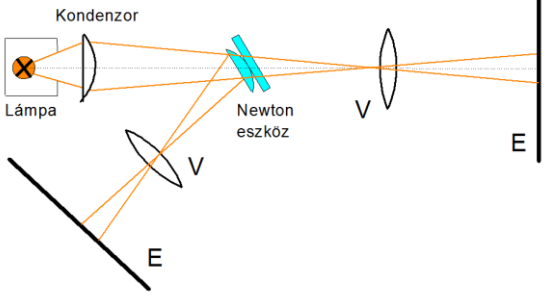
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Kettős kondenzor lencse (f = 5 cm)
- Optikai sín (4 db lovas, 4 db T tartó)
- 2 db ernyő
- Newton eszköz
- Két vetítőlencse (f=10 cm)

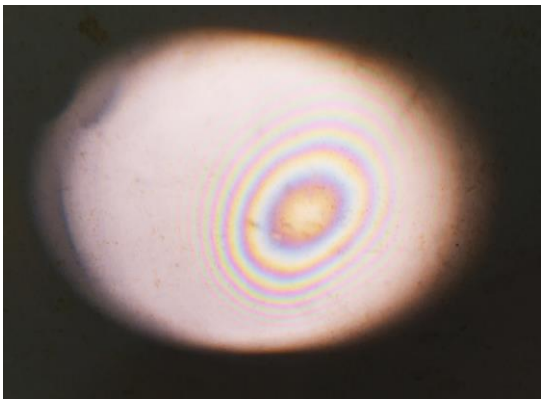
Leírás

A szappanhártyák esetében a színek létrejöttét a jól ismert vékonyréteg interferenciával magyarázhatjuk. A különböző színekről pedig a buborék különböző vastagságai tehetnek, hiszen a különböző hullámhosszúságú fényeket más-más szög alatt erősíti, vagy éppen gyengíti. Jelen esetben a jelenség előállítására egy gyári eszközt használunk, melyben egy egyik oldalán sík, másik oldalán domború üvegfelület van egy teljesen sík lemezhez érintve (természetesen a domború felével).

A jelenség átmenő és visszavert fényben is kivetíthető (ez utóbbi a kontrasztosabb). A fényforrás fényét a (nem rövid gyújtótávolságú) kondenzorral az optikai padra kissé ferdén állított eszközre gyűjtjük, de csak annyira, hogy az egész üvegfelület meg legyen világítva.

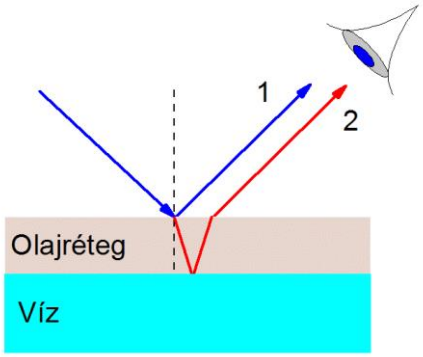
A köralakú interferenciagörbék az eszközről visszavert, illetve az azon áthaladó fénnyel (megfelelő vetítőlencsével f = 15 - 20 cm) leképezhetők. Fehér fénnyel néhány színes gyűrű látható. Vörös – vagy bármely monokromatikus – fényben (színszűrővel) erőteljesebb a jelenség, s láthatóan a gyűrűk száma is lényegesen nagyobb.





Módszertani kiegészítések

- Átlátszó testek a legragyogóbb színeket mutatják, ha elég vékony lemezeket v. hártyákat képeznek. Ezek színeit a Newton-gyűrűk színeihez hasonlóan lehet értelmezni. Érdemes ennél a kísérletnél említeni például az olajfoltok színeit és a színeket felhasználva becslést adni a réteg vastagságára.



A fenti jobboldali ábra csalóka lehet a diákok számára. A 8.10-es kísérlet módszertani megjegyzésében leírthoz hasonlóan itt is párhuzamos nyalábok láthatók. Természetes itt is azt feltételezzük, hogy a megfigyelő az olajréteg vastagságához képest távol van. Így az olajréteg közvetlen környezetében párhuzamosnak látszanak a nyalábok.

8.16. Polarizált fény előállítása fekete üvegről visszaverődéssel

A kísérlet célja

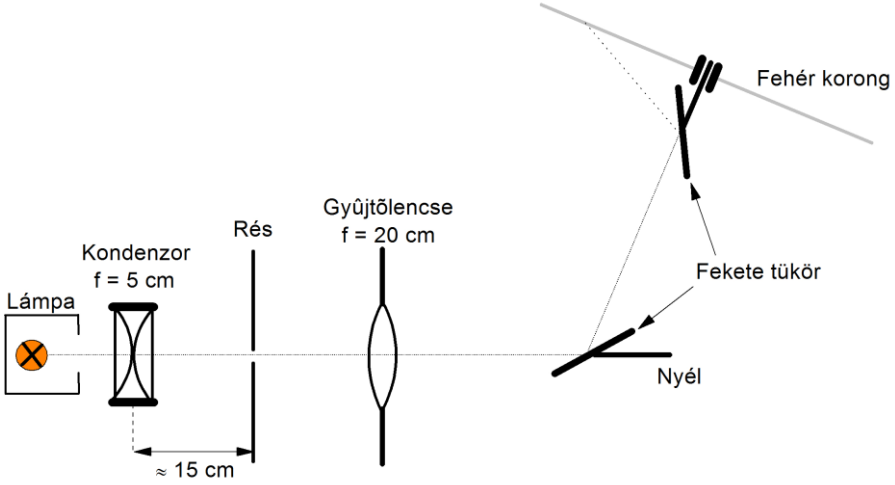
Annak bizonyítása, hogy a fény transzverzális hullám. Síkban polarizált fény előállítása.

Szükséges anyagok, eszközök

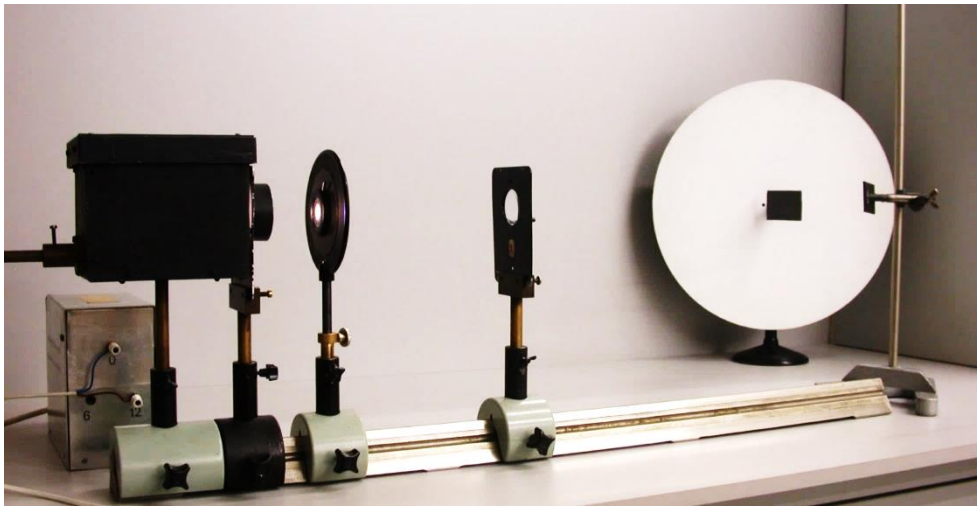
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Íriszdiafragma
- Gyűjtőlencse (f=20 cm)
- Polarizációs korong forgatható tükörrel
- Polarizációs tükör (lila), Bunsen állványon

Leírás

A vetítőlámpa háza elé közvetlenül tegyük a kondenzort (nagyon kis rést hagyva a hűlésnek), majd helyezzünk az optikai tengelyre egy szűk (2-3 mm keresztmetszetű) diafragmát. A diafragma képét képezzük le először (a kondenzortól 1-1,5 m-re lévő) lila polarizációs tükörre. A polarizációs tükör csak akkor polarizálja teljesen a beeső fényt, ha az optikai tengely egybeesik a tükör nyelével. Ez azt jelenti, hogy a diafragma képe a polarizációs tükrön éppen a tükör nyéllel érintkező részén található (azaz megfelelő magasan van a tükör az állványon), és a fény éppen a nyél irányába mutat (az optikai tengely vízszintesre van állítva és az állvány az optikai tengely irányába van forgatva). Ebben az esetben a fény éppen Brewster-szög alatt esik a tükörre, így a visszaverődő fény teljesen poláros lesz. A visszaverődő fény útjába tesszük a polarizációs korongot úgy, hogy a fény képe a polarizációs korong tükrén éppen oda essen, ahol a nyél érintkezik a tükörrel, és a fény éppen a nyél irányába mutasson. Ez utóbbit úgy ellenőrizhetjük, hogy a forgatható tükröt forgatva a korongra eső fénysugár jó beállítás esetén a középponthoz képest szimmetrikusan esik. Érdemes a korongon a függőlegeshez képest 90°-nál és 270°-nál ellenőrizni a fényfolt helyét: ha itt egyenlő távolságra vannak a nyél helyétől, akkor jó a beállítás. Végül a vetítőlencse mozgatásával állítsuk be, hogy a diafragma képe a korongon legyen éles. Szűkítsük a diafragmát, ha a diafragma képe szélesebb, mint a polarizációs tükör.



A polarizációs korong forgatható tükrét forgatva keressük meg azt az irányt, amikor a két polarizációs tükör polarizációs síkjai egymásra merőlegesek, illetve egymással párhuzamosak!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a polarizáció jelensége?
- Mit nevezünk Brewster-szögnek?
- Milyen síkban rezegnek a polarizációs üvegről visszaverődő elektromágneses hullámokban az elektromos térerősségvektorok?

8.17. Polarizálás üveglemez-kötegen történő sorozatos fénytörés révén

A kísérlet célja

Annak igazolása, hogy az átlátszó üveg részben polarizál.

Szükséges anyagok, eszközök

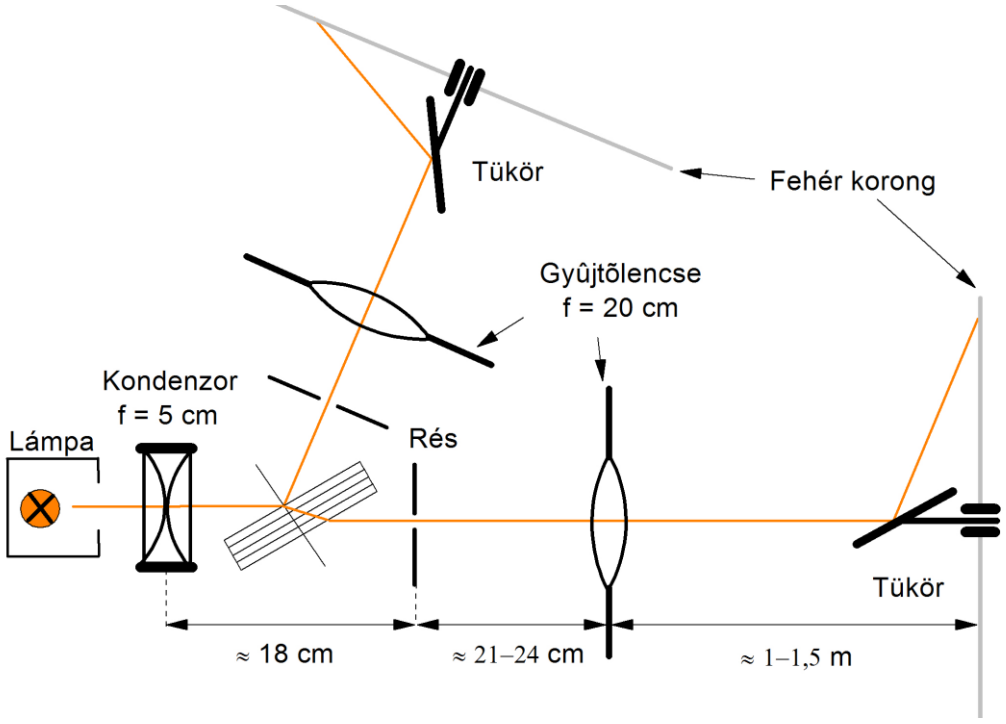
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Íriszdiafragma
- Gyűjtőlencse (f=20 cm)
- Polarizációs korong forgatható tükörrel
- Forgatható üveglemezsor

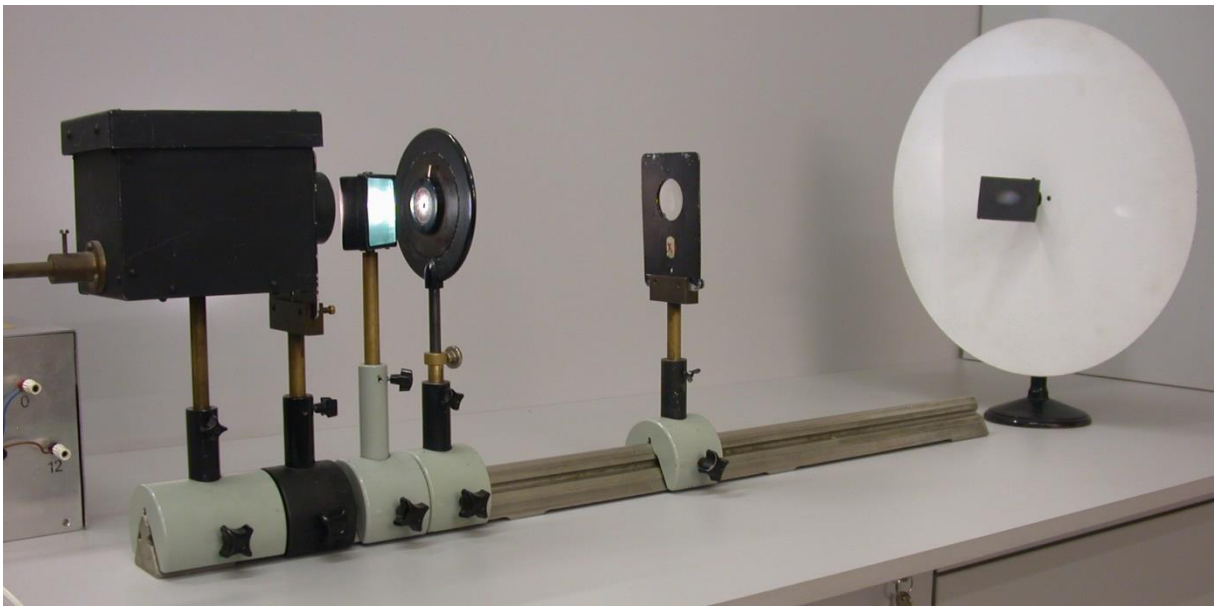
Leírás

Először az átmenő fény polarizáltságát vizsgáljuk. A vetítőlámpa háza elé közvetlenül tegyük a kondenzort (nagyon kis rést hagyva a hűlésnek), majd helyezzünk az optikai tengelyre egy szűk (2-3 mm keresztmetszetű) diafragmát úgy, hogy a lemezsor még elforgatva is elférjen a kondenzor és a diafragma között (nagyjából 20 cm). A diafragma képét képezzük le először a diafragmától kb. 20 cm-re lévő vetítőlencsével (a kondenzortól 1-1,5 m-re lévő) polarizációs korong tükrére. A polarizációs tükör csak akkor polarizálja teljesen a beeső fényt, ha az optikai tengely egybeesik a tükör nyelével. Végül tegyük be az üveglemezsort a diafragma elé, és forgassuk Brewster-szögbe a lemezsort.

Mutassuk be, hogy az üvegen áthaladó fény részben polarizált!

Mutassuk meg, hogy az üveglemezsorról visszavert fény is részben polarizált!





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mikor mondjuk, hogy a fény részben polarizált?

Módszertani kiegészítések

- A Brewster-szögbe való állítás a következőképpen végezhető. Állítsuk kb. 50-60 fokos szögbe a lemezsort, majd a polarizációs tükröt forgatva figyeljük, hogy maximális polarizáció esetén mekkora a fényfolt intenzitása. A lemezsort (kissé) forgatva keressük meg a lemezsor olyan helyzetét, amikor a polarizációs korongra eső (a polarizációs tükörről visszavert) folt maximális polarizáció mellett minimális intenzitást mutat.

8.18. Polárszűrők használata, rezgési síkjuk megállapítása

A kísérlet célja

Polárszűrő működésének megismerése. Az analizátor rezgési síkjának meghatározása a polarizátorhoz képest.

Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Íriszdiafragma
- Gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- 2 db polárszűrő, forgatható foglalatban
- Ernyő

Leírás

A vetítőlámpa háza elé közvetlenül tegyük a kondenzort (egy kis rést hagyva a hűlésnek), majd helyezzünk az optikai tengelyre egy diafragmát úgy, hogy a polárszűrő elférjen a kettő között (15-20 cm-re a kondenzortól). A diafragma képét képezzük le először a diafragmától kb. 20 cm-re lévő vetítőlencsével (a kondenzortól 1-1,5 m-re lévő) ernyőre. Végül tegyük be a két polárszűrőt: egyiket a diafragma elé (polarizátor), másikat a vetítőlencse után (analizátor).

A vetítőlencse után elhelyezett polárszűrő forgatásával állítsuk be az analizátor orientációját úgy, hogy az analizátor rezgési síkja párhuzamos / merőleges legyen a polarizátor rezgési síkjára. Figyeljük meg az eredményt.

Vigyázat! Hő hatására a polárszűrő elveszítheti polarizáló hatását, így a polarizátort, amely közvetlenül a kondenzor után található a kísérletekben, igyekezzünk csak a lehető legrövidebb ideig hőnek kitenni, azaz a polarizátort közvetlenül a kísérlet bemutatása előtt helyezzük csak be, és a kísérlet bemutatása után rögtön vegyük is ki.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Hogyan működik a polarizátor?
- Milyen eszközök alkalmaznak polárszűrőt? Miért van ezekben szükség rá?

8.19. Mészpátkristály kettőstörő tulajdonságának bemutatása

A kísérlet célja

A kettőstörés jelenségének bemutatása, valamint az ordinárius (rendes) és extraordinárius (rendellenes) sugár polarizáltságának bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

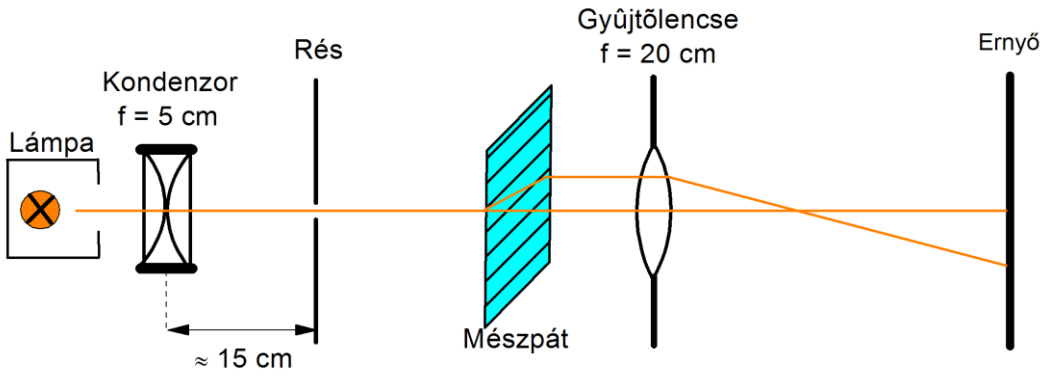
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Íriszdiafragma
- Gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- Polárszűrő, forgatható foglalatban, vagy polarizációs korong forgatható tükörrel
- Mészpát kristály forgatható foglalatban
- Ernyő

Leírás

A vetítőlámpa háza elé közvetlenül tegyük a kondenzort (egy kis rést hagyva a hűlésnek), majd helyezzünk az optikai tengelyre egy diafragmát 15 cm-re a kondenzortól, ezt követően tegyük be a mészpát kristályt (lovasba rakva), végül a vetítőlencsét. Figyeljünk arra, hogy az optikai tengely vízszintes legyen, és merőleges a mészpát kristály két párhuzamos oldalára. A vetítőlencsét úgy állítsuk be, hogy a kondenzortól 1-1,5 m-re lévő ernyőn a diafragma képei élesek legyenek.

A mészpát kristály forgatásával mutassuk meg, hogyan változnak a diafragma képei az ernyőn. Mutassa meg, melyik a rendes és melyik a rendellenes sugár. A vetítőlencse után elhelyezett polárszűrő forgatásával mutassuk be, hogy mind a rendes, mind a rendellenes sugár polarizált.

Mutassuk be, hogy a rendes és rendellenes sugárban a rezgési síkok egymásra merőlegesek.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a kettőstörés jelensége?
- Magyarázzuk meg, hogy miért és hol alakul ki kettőstörés!
- Magyarázzuk meg a mészpát forgatásával tapasztalt jelenséget!

8.20. Interferencia jelenség létrehozása párhuzamos poláros fénynyalábbal

a) Kettőstörő lemez színeinek kivetítése

A kísérlet célja

Különböző vastagságú celofán / cellux színeinek kivetítése párhuzamos polarizált fénynyalábok interferenciájának segítségével.

Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- 2 db polárszűrő, forgatható foglalatban
- Kettőstörő lemezek (diában)
- Forgatható diatartó
- Ernyő

Leírás

A vetítőlámpa és a kondenzor távolságát úgy állítjuk be, hogy a kondenzort párhuzamos nyaláb hagyja el. Az optikai tengelyre fűzzük fel a polárszűrőt, a diatartóba helyezett kettőstörő lemezt, majd a vetítőlencsét. A vetítőlencsét úgy állítsuk be, hogy a diában lévő kettőstörő lemez (celofán, cellux) képe élesen jelenjen meg az ernyőn, majd helyezzük be a vetítőlencse után a másik polárszűrőt is. A diát kivéve a diatartóból a polárszűrőket keresztezett állásba állítjuk. (Azaz az ernyőn megszűnik a fényfolt.) A diát előző helyére visszatéve az ernyőn látható az interferenciakép.)

Vetítsük ki különböző vastagságú celofán / cellux minták interferenciaképét.

Forgassuk a forgatható diatartóba tett kettőstörő lemezeket.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg, hogy miért látjuk színesnek a fenti elrendezésben a celofán képét!

b) Feszültségoptikai alapjelenségek

A kísérlet célja

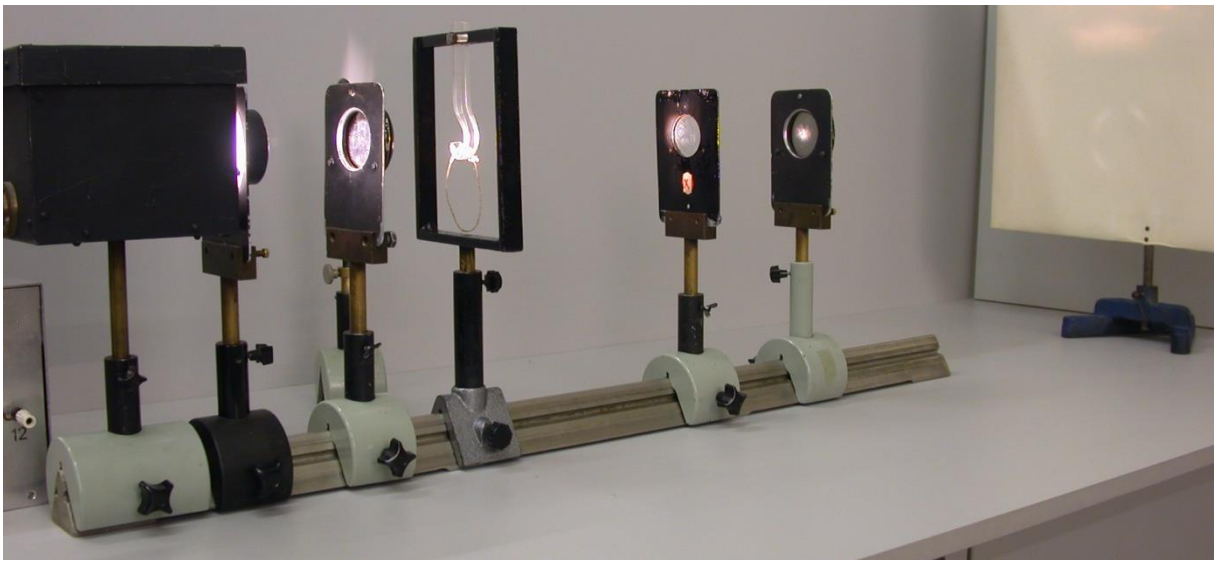
A feszültségoptika alapjelenségének bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- Két polárszűrő, forgatható foglalatban
- Vonalzó
- Feszültségoptikai modell (műanyagból készült különböző alakú testek, pl. vonóhorog)
- Ernyő

Leírás

A 8.19-es kísérleti beállításában a kettőstörő lemez helyére rakjuk be a feszültségoptikai modellt vagy egy vonalzót. Ha szükséges, a vetítőlencse mozgatásával állítsuk a képet az ernyőn élesre. A modelltestet vagy a vonalzót deformálva figyeltessük meg, hogyan változik az ernyőn a kép.



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázza meg a kísérletben tapasztaltakat!
- Mire alkalmazható a feszültségoptika?

8.21. Modellkísérlet az égbolt kék színére, polározottságára és naplemente vörös színére

A kísérlet célja

Hétköznapi optikai jelenségek (naplemente vörös színe, ég kék színe) fizikai magyarázata modellkísérlet segítségével.

Szükséges anyagok, eszközök

- Üvegkád állványon
- Kemény szappan
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Kettős kondenzor lencse (f = 5 cm)
- Diafragma (lyukblende)
- Gyűjtőlencse (f = 10 cm)
- Optikai sín (4 db lovas, 3 db T tartó)
- Talpas ernyő
- Polárszűrő

Leírás

Üvegkádba töltsünk tiszta vizet, és ebbe mossunk bele kevés hagyományos keményszappant. Bocsássunk át a kádon keskeny, optikai padon előállított (kb. 5 cm átmérőjű) fénynyalábot, a kád túloldalára helyezzünk ernyőt.

A szappant óvatosan adagoljuk! Már egészen kis koncentráció esetén is látható, hogy a fénynyaláb környékén a víz égszínkék színűvé válik. A továbbhaladó fénynyaláb már sárgás színűnek látszik, nagyobb szappankoncentrációnál pedig bíborvörössé válik. Ez utóbbit legjobban az átmenő nyalábban lehet megfigyelni. Üvegkádas kísérletünk alkalmas annak az ismert ténynek a demonstrálására is, hogy az égbolt fénye poláros. Ha ugyanis polárszűrőn keresztül nézünk a kád felé, a polárszűrőt forgatva a látómezőt periodikusan (egyhén) világosabbnak, majd sötétebbnek látjuk.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Adjunk szerkezeti magyarázatot a jelenségekre. Mi okozza az ég kék színét és a naplemente vörös színét a légkörben?

8.22. Hagyományos izzólámpa, energiatakarékos kompakt fénycső és LED lámpa relatív fényteljesítményének összehasonlítása

A kísérlet célja

Egy hagyományos izzólámpa, egy energiatakarékos kompakt fénycső és egy LED lámpa relatív fényteljesítményének összehasonlítása zsírfoltos fotométer segítségével.

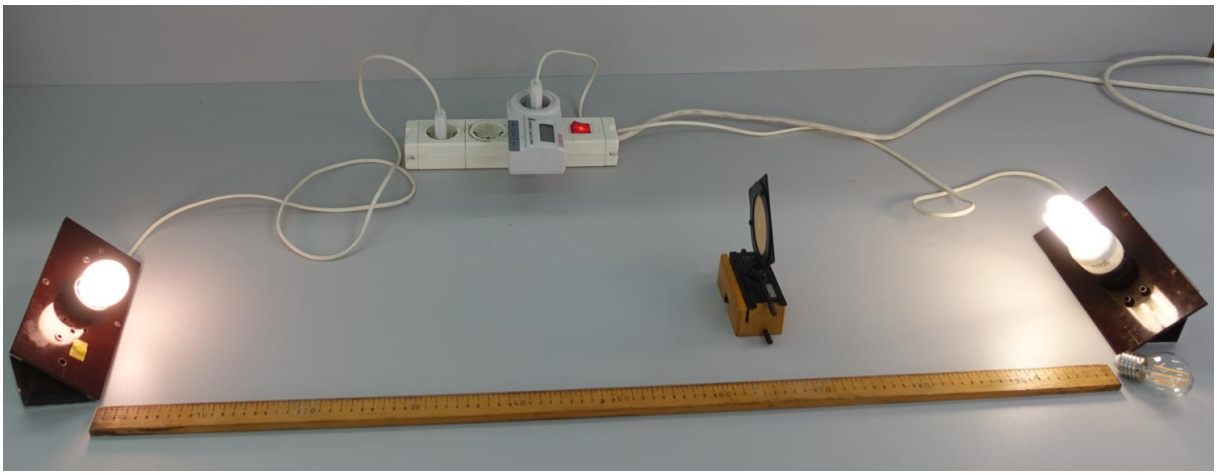
Szükséges anyagok, eszközök

- Égő foglalat (2db, E27) biztonsági dugaszú csatlakozással
- Hagyományos izzólámpa (25 W névleges teljesítmény)
- LED lámpa (4 W névleges teljesítmény)
- kompakt fénycső (15 W névleges teljesítmény)
- elektromos teljesítménymérő
- zsírfoltos fotométer (pausz ernyő, zsírfolttal a közepén) talpazaton
- kapcsolóval ellátott elosztó
- mérőszalag

Leírás

A foglalatokba csavarjuk be a hagyományos izzót, valamint a kompakt fénycsövet, majd helyezzük el egymással szemben kb. 1 méter távolságban. A két lámpa közé a lámpákat összekötő egyenesre merőlegesen rakjuk a zsírfoltos papírernyőt (zsírfoltos fotométer)! Az összeállítást az ábra mutatja.

> ***Vigyázat!*** Az elosztó biztonsági kapcsolója csak a mérések során legyen bekapcsolva! Az átszerelések alatt mindig kapcsoljuk ki!



A lámpák bekapcsolása után az ernyő egyik oldalát az egyik, a másik oldalát a másik lámpa fénye világítja meg. A terem világítását érdemes lekapcsolni és besötétíteni, ha ez nem lehetséges, akkor arra kell figyelni, hogy az egyéb fényforrások egyenlő mértékben világítsák az ernyő két oldalát. A

megvilágítás erőssége megváltozik, ha az ernyőt elmozdítjuk a lámpákat összekötő egyenes mentén. (A lámpák fénykibocsátását tekinthetjük gömbszimmetrikusnak. Ennek megfelelően lámpák az ernyőt az ernyőtől vett távolságuk négyzetével fordítottan arányos mértékben világítják meg.)

Feladatok

- Mérjük meg a teljesítménymérő segítségével mindkét lámpa elektromos teljesítményét! Ehhez a teljesítménymérőt csatlakoztassuk az elosztóhoz, majd ebbe dugjuk be a lámpa hálózati dugaszát! Az elosztó bekapcsolása után az eszköz kiírja a felvett teljesítményt. Hasonlítsuk össze a névleges és a felvett teljesítményeket!
- Az zsírfoltos fotométer mozgatásával keressük meg azt a helyzetet, amikor az ernyő mindkét lámpából azonos megvilágítást kap, azaz amikor az ernyőn lévő zsírfolt sem nem sötétebb, sem nem világosabb az ernyő többi részénél!
- Mérjük meg ebben a helyzetben az ernyő távolságát mindkét lámpától, majd a lámpák felvett teljesítményét alapul véve határozzuk meg a relatív fényteljesítmények arányát!
- Végezzük el a hagyományos izzó és a LED összehasonlítását is a fent leírt módszerrel.

Ajánlott feladat

- Fényerősség mérő (mobiltelefon alkalmazás) segítségével ellenőrizzük a feladat alapfeltevését miszerint: „a lámpák fénykibocsátását tekinthetjük gömbszimmetrikusnak”.

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a fényerősség SI mértékegysége? Lámpavásárláskor sokszor a lumen és a lux értékeket adják meg. Mi ezeknek az SI mértékegységhez fűződő viszonya?
- Ismertessük a LED lámpa működését!
- Ismertessük a kompakt lámpa működését!

Módszertani kiegészítések

- A fent leírt kísérlet kiértékelése a legtöbb diák számára bonyolult, de leegyszerűsítve mindenképpen érdemes bemutatni (akár általános iskolában is), hiszen nagyon fontos energiatakarékossági következtetéseket lehet levonni. Egyszerűsített formában csupán azt állapítjuk meg, hogy melyik lámpa világít fényesebben és melyiknek fogyaszt kevesebbet. Ezekre alapozva meg lehet beszélni, hogy melyiket érdemes a háztartásokban használni. Érdemes utánanézni az egyes fényforrások árának, élettartamának, hogy még árnyaltabb képet tudjunk átbeszélni a diákokkal.
- A kísérlethez nem szüksége a zsírfoltos fotométer. Manapság minden diáknak van okostelefonja, mellyel lehet fényerősséget is mérni. Ha van ilyen eszközünk, akkor a mérés egyszerűsödik: tegyük le a mérőeszközt mindig 1 méter távolságra a fényforrástól. Mérjük a fényerősséget és az elektromos teljesítményt! A kettő hányadosa adja relatív fényteljesítményt. Ilyenkor a fényerősség négyzetes távolságfüggését nem is kell feltétlenül szóbahozni és magyarázni.

8.23. Napelemcella vizsgálata

A kísérlet célja

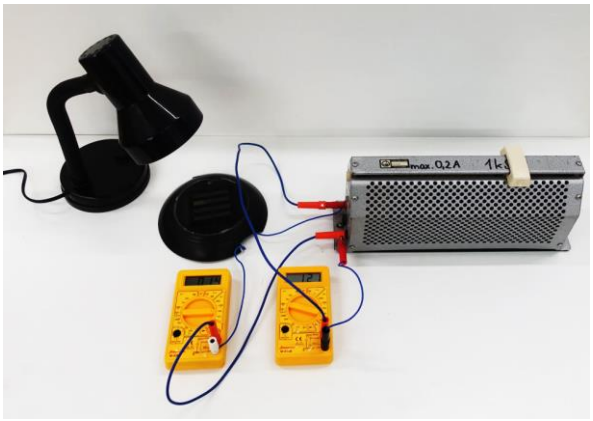
Napelemcella teljesítményének vizsgálata a megvilágító fény intenzitásának függvényében. Terhelésfüggésének (áramerősség-függésének) vizsgálata, optimális terhelés megkeresése.

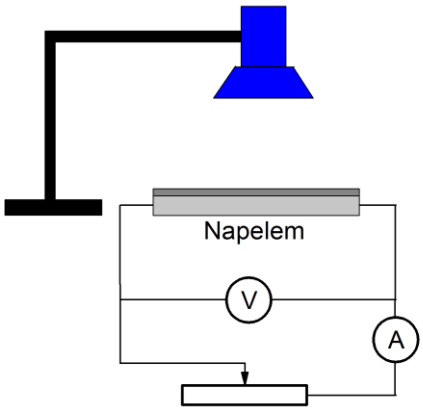
Szükséges anyagok, eszközök

- Napelemcella banándugós csatlakozással
- Digitális multiméter, 2 db
- változtatható ellenállás, 1kΩ -os, 0,2 A-ig terhelhető
- Fekete asztali lámpa
- mérőszalag

Leírás

A kísérleti összeállítást a fotó mutatja, mellette látható a kapcsolási rajz.





Állítsuk össze a kapcsolást az ábra szerint! A feszültséget mérő digitális multimétert állítsuk 2000 mV-os méréshatárra, az áramerősséget mérő multimétert kezdetben 20 mA-es méréshatárra (az ellenállás csökkentésével kifuthatunk a méréshatárból, akkor növeljük 200 mA-re)! A lámpát állítsuk a napelemcella fölé, a változtatható ellenállást állítsuk maximális értékre és olvassuk le a műszereken a cella feszültségének és a kör áramerősségének értékét!

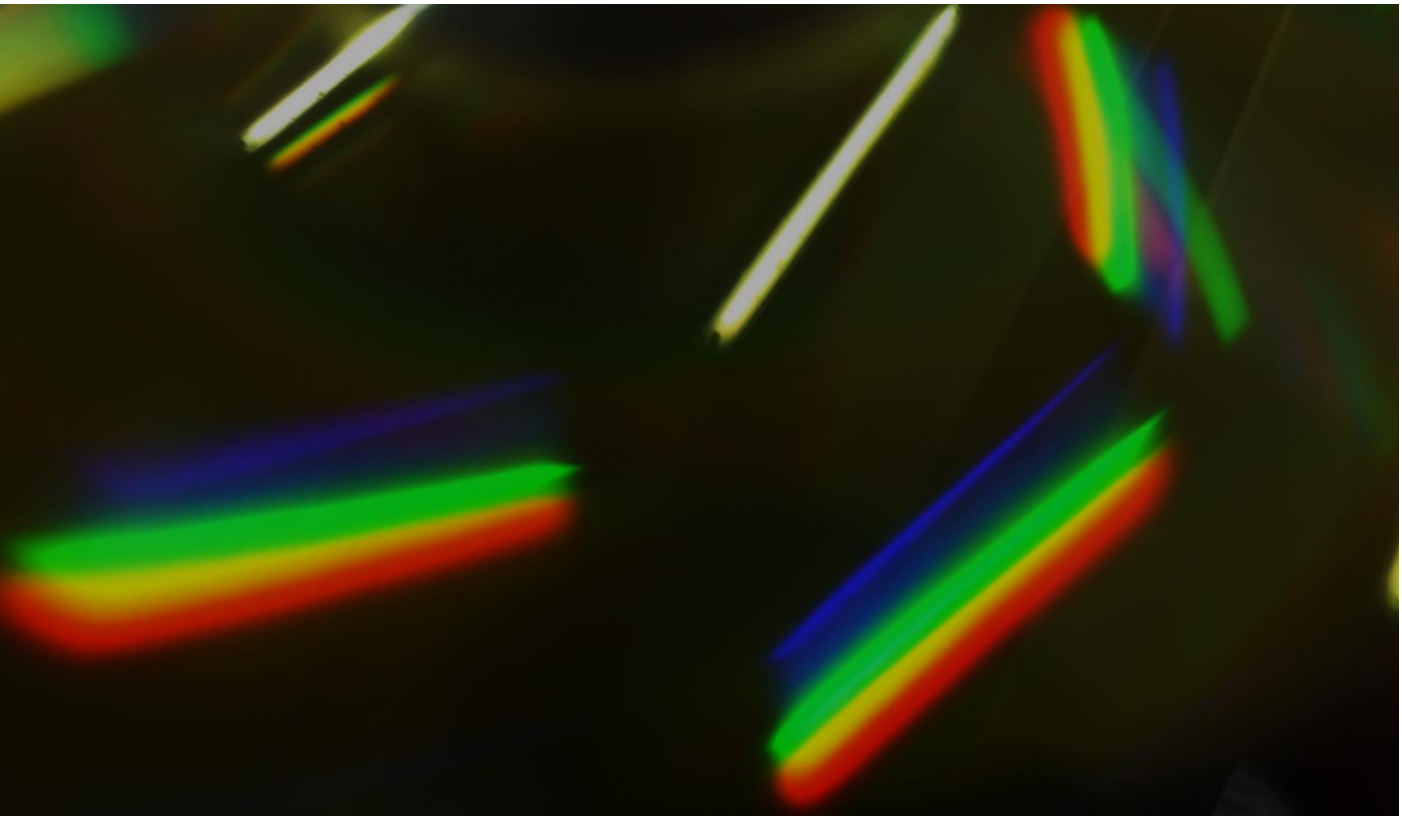
Feladatok

- Az ellenállást fokozatosan csökkentve növeljük lépésről lépésre az áramerősséget 2-3 mA-rel, és minden lépés után jegyezzük fel a műszerek adatait!
- A mérési adatokat foglaljuk táblázatba és rajzoljuk fel a cella feszültség–áramerősség karakterisztikáját!
- Értelmezzük a kapott görbét! A mért adatok alapján határozzuk meg a cella teljesítményét a terhelés (áram) függvényében, és az eredményt ábrázoljuk grafikonon!
- A változtatható ellenállást állítsuk maximális értékre, a fényforrás magasságát növeljük (emeljük meg a lámpát a nyakánál fogva kézzel) és figyeljük meg a feszültség változását!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Írjuk le egy napelemcella működését!

- Interneten fellelhető adatok alapján becsüljük meg, hogy Magyarország területének mekkora részét kellene lefedni napelemmel, hogy a teljes elektromos energiafelhasználást biztosítani lehessen velük.



9. Modern fizika

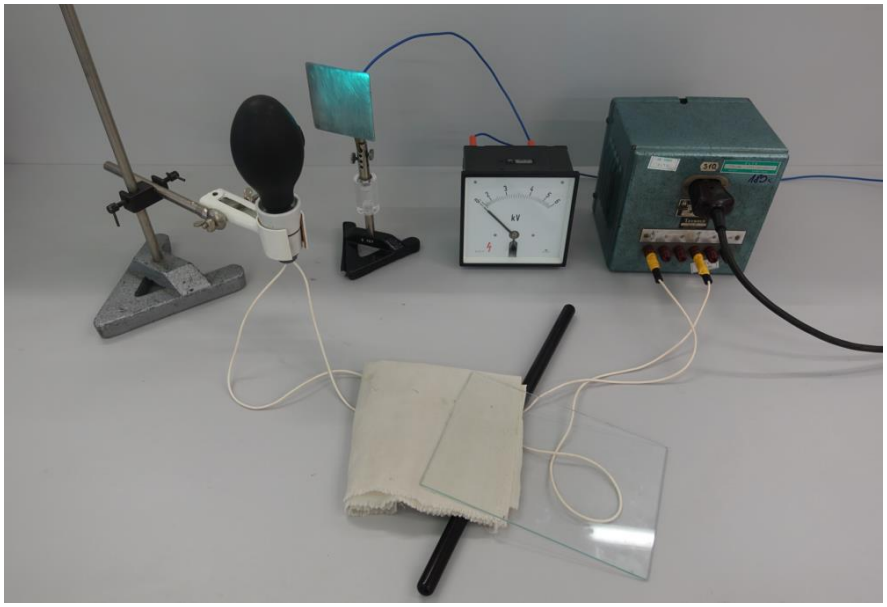
9.1. A fotoeffektus kimutatása

A kísérlet célja

Fotoeffektus jelenségének demonstrálása, mennyiségi viszonyainak érzékeltetése.

Szükséges anyagok, eszközök

- Higanygőz lámpa, állványra szerelve
- Fojtótekercs higanygőz lámpához
- Cink lemez szigetelő állványon
- 2 db vezeték
- Statikus voltmérő (galvanométer)
- Kisméretű ablaküveg
- Izzószálas asztali lámpa
- Ebonitrúd, üvegrúd, selyem és szőrme



A mérés leírása

A kísérlet összeszerelésének megkezdése előtt kapcsoljuk be a higanygőz lámpát, mivel néhány perc szükséges, amíg eléri a maximális intenzitását. A lámpa a kísérlet ideje alatt legyen végig a fal felé fordítva. A voltmérő mérő ágához csatlakoztassuk a cinklemezt, a másikat (amin a föld jelzés van) csatlakoztassuk a csaphoz (azaz földeljük le). Vigyázzunk, hogy a cinklemezből jövő kábel végig a levegőben fusson! A cinklemezt kezdetbe ne világítsa meg a higanylámpából jövő közvetlen fénysugár!

- Az ebonitrudat dörzsöljük meg selyemmel, majd töltsük fel vele a cinklemezt (a feltöltött rudat végig kell húzni a lemezen). Ezt addig ismételjük, míg a feszültségmérő 5 kV körüli értéket nem jelez. Akkor jó az összeállítás, ha feltöltés után a feszültség állandó (vagy csak nagyon lassan csökken). Fordítsuk a higanygőz lámpát a lemez felé, és figyeljük meg a mutató állását!
- Ezt követően ismételjük meg a kísérletet bőrrel dörzsölt üvegrúddal! Figyeljük meg a különbséget!

- Töltsük fel ismét ebonitrúddal a lemezt, de most szembefordítás előtt helyezzünk ablaküveget a lámpa és a lemez közé.

Vigyázat! A higanygőz lámpába sohase nézzünk bele közvetlenül, mert károsíthatja a szemet. A lámpát csak addig üzemeltessük, amíg feltétlenül szükséges!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Adjunk magyarázatot a fényelektromos hatás jelenségére! Mi játszódik le atomi szinten?
- Írjuk fel az Einstein-féle fényelektromos egyenletet és mutassuk be a tagjainak fizikai hátterét! Az egyenletet felhasználva magyarázzuk meg az ablaküveg hatását!

Módszertani kiegészítések

- Sokszor előfordul, hogy az üvegrúddal feltöltött cinklemez is veszít a töltöttségéből, amikor rávilágítunk a higanygőz lámpával. Ez a tanárt és a diákot is összezavarhatja. A kísérlet ezen része nem tartozik szervesen a demonstrációhoz, inkább csak érdekesség. Nem támogatja a fényelektromos jelenség fogalmi megértését, ezért nyugodtan kihagyható.

9.2. Pénzérme pöckölés – A Rutherford-féle szórási kísérlet demonstrálása

A kísérlet célja

Modellkísérlet a Rutherford-féle szórási kísérletre.

Szükséges anyagok, eszközök

- Cipősdoboz (olló a szélek kivágásához)
- Kis pénzérmék / kis papírkorongok
- Kis és nagyméretű akadály (pl. kis súly, kis pohár, tolltartó, izzósdoboz stb.)

Leírás

A cipősdoboz négy sarkát leszámítva vágjuk körbe a dobozt centiméteres „vastagságban”, így a dobozt lefelé fordítva a kis pénzérmék/papírkorongok könnyen átjuthatnak alatta. Helyezzünk a doboz alá egy „ismeretlen” méretű testet – vagy kérjünk meg valakit, hogy egy próbatestet helyezzen a doboz alá. A doboz mellé kis távolságban felsorakoztatott pénzérméket azonos irányban pöckölgessük végig, s a pénzérmék átjutásából következtethetünk a doboz alatti test méretére!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- A valódi aranyatom esetén kb. mekkora az atom és atommag átmérőjének aránya? Nagyjából mekkora „akadályt” kellene a cipősdoboz alá rejteni, ha méretarányos modellezést szeretnénk végezni?
- Pénzérmék helyett alacsony lejtőről indított kis golyókat is használhatunk. Milyen előnyi lehetnek a golyóval végzett kísérletnek a pénzérméshez képest?

Módszertani kiegészítések

- Az atomfizikai modellek elképzelése és megértése sokszor komoly absztrakciókat vár el a diákoktól. Mivel egy amúgy szabad szemmel nem látható atom belsejébe „belelátni” szintén nem lehetséges, ezért érdemes megmutatnunk egy egyszerű modell-kísérlet segítségével, hogyan lehet indirekt információkból is következtetéseket levonni egy doboz tartalmáról vagy éppen az atomok szerkezetéről. Az eredeti Rutherford-féle kísérletből az aranyatomok szerepét itt a cipősdoboz, a hélium-magokét (α-sugárzását) pedig a pénzérmék veszik át.

9.3. Folytonos színkép vetítése

a) Folytonos színkép vetítése egyszerű prizmával

A kísérlet célja

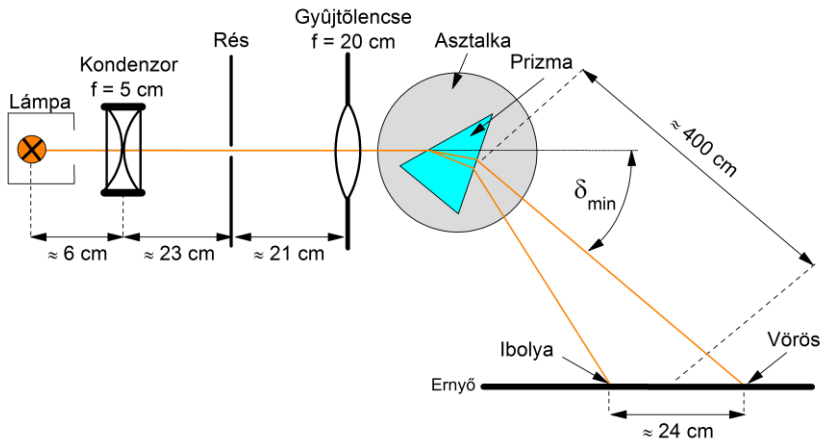
A diszperzió jelenségének és a fehér fényt alkotó különböző színek bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

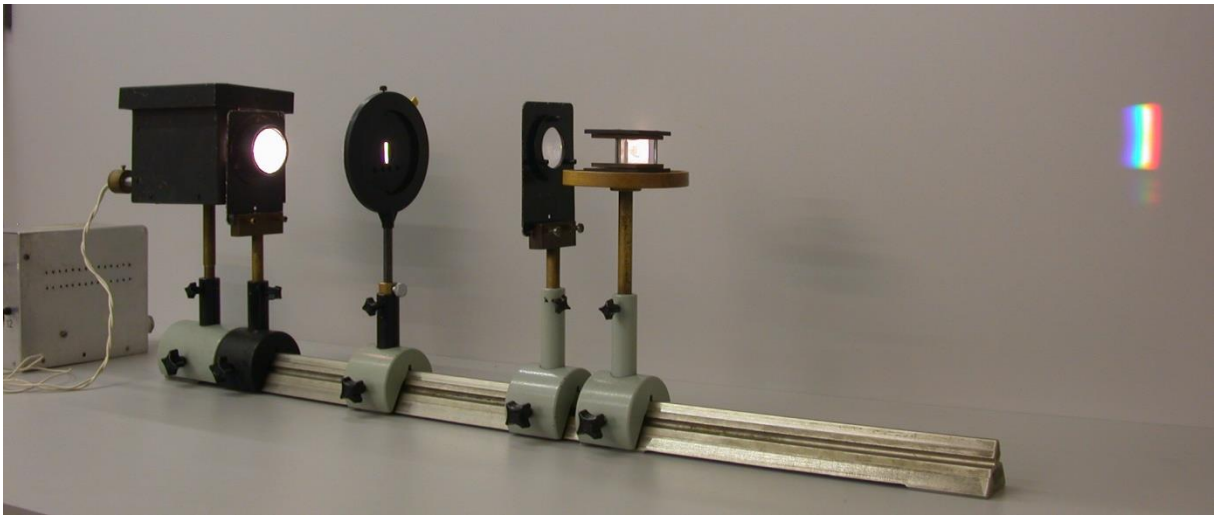
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Állítható rés
- Diafragma (lyukblende, lyuk alakú rés)
- Gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- 60 fokos törőszögű prizma
- Prizmatartó (kerek) asztalka nyéllel
- Ernyő

Leírás

Közvetlenül a lámpaház után helyezzük el a kondenzort, de ne szorítsuk rá a nyílásra, mert ekkor az izzószál nem tud hűlni. Ezután a kb. 1 mm széles rést tegyük kb. 20 cm-re a kondenzortól. Figyeljünk arra, hogy az egyes optikai elemek tengelye közös legyen. Az izzó előre-hátra mozgatásával koncentráljuk a fényt a résre. Helyezzük az ernyőt 3-4 m távolságra a lámpaháztól, majd helyezzük el a vetítőlencsét úgy, hogy az ernyőn megkapjuk a rés éles képét és a résből jövő fénynyaláb teljes egészében áthaladjon a vetítőlencsén. A vetítőlencse után (közel) helyezzük el a rendszer optikai tengelyébe a prizmát a prizmatartó asztalkára. A prizma behelyezésével a nyaláb a prizma matt oldala felé térül el. Keressük meg az ernyővel a nyaláb képét. A legjobb képet minimális deviációnál (lásd. 8.2/e kísérlet) kapjuk. A minimális deviáció megkereséséhez forgassuk a prizmát lassan mindkét irányba, majd keressük meg a prizma azon helyzetét, amikor a színkép a legközelebb van az optikai tengely irányához. A lencse tengely menti mozgatásával (néhány cm) élesítsük a rés képét az ernyőn. A lencse színhibáinak kiküszöbölésére forgassuk el az ernyőt úgy, hogy a színkép végig éles legyen. Az ernyő elforgatásával a színkép megnyúlik, ezáltal jobban láthatóvá válik a sárga szín.



Az ernyő közelebb is tehető, ekkor csak a V vetítőlencse helyzetét kell módosítani. A színkép így rövidebb, de fényesebb lesz.



Feladatok

- Állítsuk össze a diszperzió bemutatására alkalmas kísérletet!
- Annak bemutatására, hogy miért rést használunk, tegyünk a rés helyébe diafragmát és figyeltessük meg, hogyan változik a színkép.
- Figyeljük meg, hogyan változik a színkép, ha változtatjuk a kondenzor és az izzó távolságát (az izzó helyzetének eltolásával)!
- Figyeljük meg, mi történik, ha változtatjuk a rés nagyságát! Állítsuk be a „legszebb” színképet!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi a diszperzió jelensége?
- Magyarázzuk meg, miért jön létre diszperzió!
- Mikor kapunk vonalas és mikor folytonos színképet?

b) Folytonos színkép vetítés egyeneslátású prizmával

A kísérlet célja

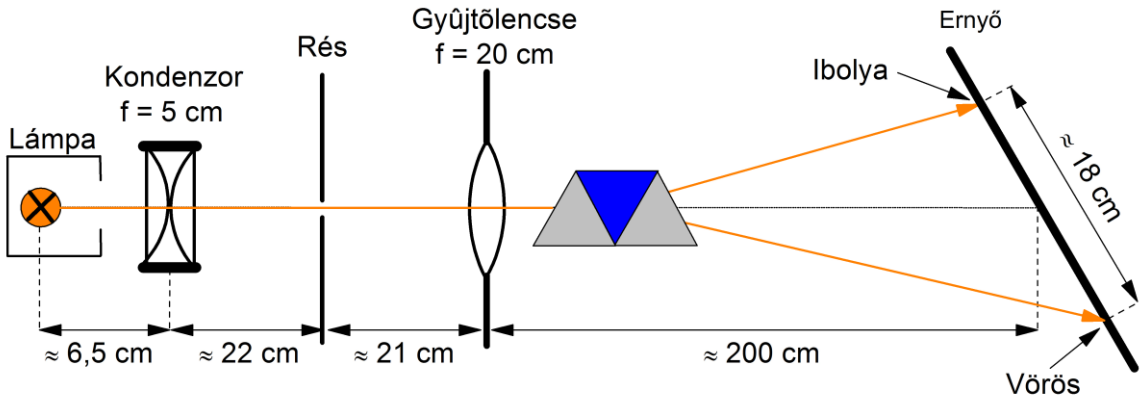
A diszperzió jelenségének és a fehér fényt alkotó különböző színek bemutatása.

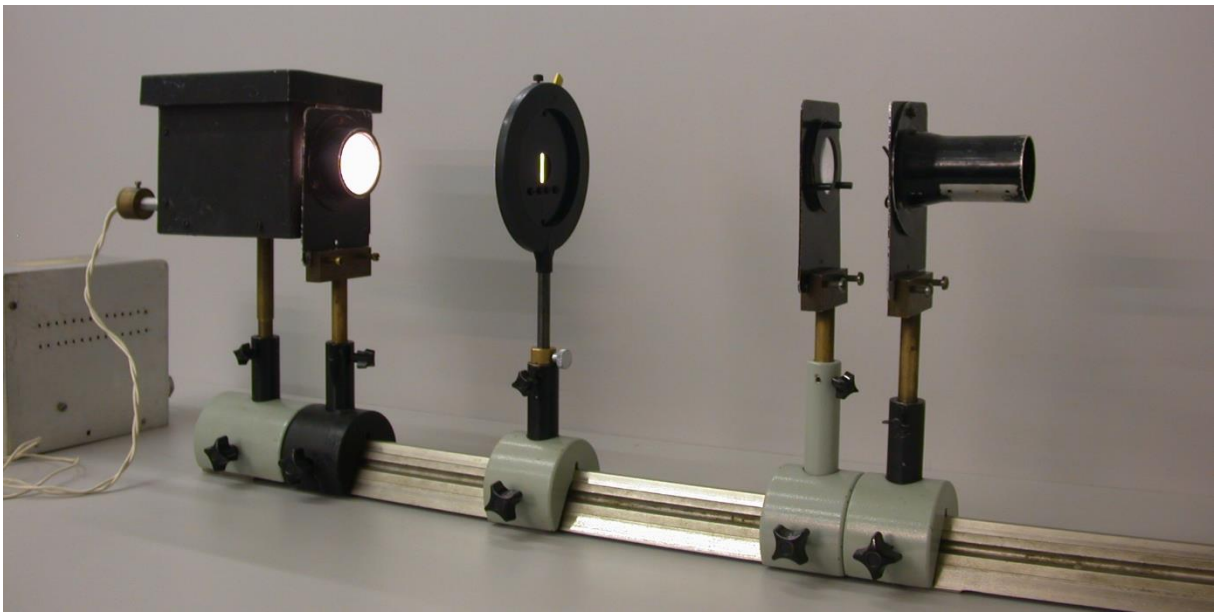
Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kettős kondenzor (f=5 cm)
- Állítható rés
- Gyűjtőlencse (f=20 cm)
- Egyeneslátású prizma fekete védőcsőben, lemezfoglalatban
- Ernyő

Leírás

Közvetlenül a lámpaház után helyezzük el a kondenzort (kis helyet hagyva a nyílásnál, hogy az izzó hűlését ne akadályozzuk), majd a kb. 1 mm széles rést tegyük kb. 20 cm-re a kondenzortól. Figyeljünk arra, hogy az egyes optikai elemek tengelye közös legyen, különben fényszegény lesz a spektrum. Az izzó előre-hátra mozgatásával koncentráljuk a fényt a résre. Helyezzük az ernyőt 1,5-2 m távolságra a lámpaháztól, majd helyezzük el a vetítőlencsét úgy, hogy az ernyőn megkapjuk a rés éles képét, és a résből jövő fénynyaláb teljes egészében áthaladjon a vetítőlencsén. A vetítőlencse után tegyük az optikai sínre egy lovasba rögzítve az egyeneslátású prizmát. A lencse színhibáinak kiküszöbölésére (a lencse fókusztávolsága ibolya fényre rövidebb, mint pirosra) forgassuk el az ernyőt úgy, hogy a színkép végig éles legyen. Az ernyő elforgatásával a színkép megnyúlik, ezáltal jobban láthatóvá válik a sárga szín. A színkép további élesítését a V vetítőlencse tengelymenti előre-hátra mozgatásával (néhány cm) érhetjük el.





9.4. A folytonos spektrum színeinek egyesítése, részleges egyesítése

a) Folytonos színkép színeinek egyesítése fehér fénnyé

A kísérlet célja

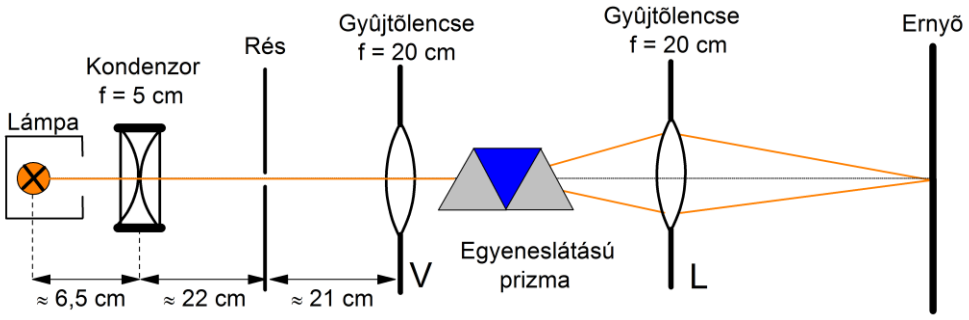
A spektrumszínek újra egyesítésének bemutatása.

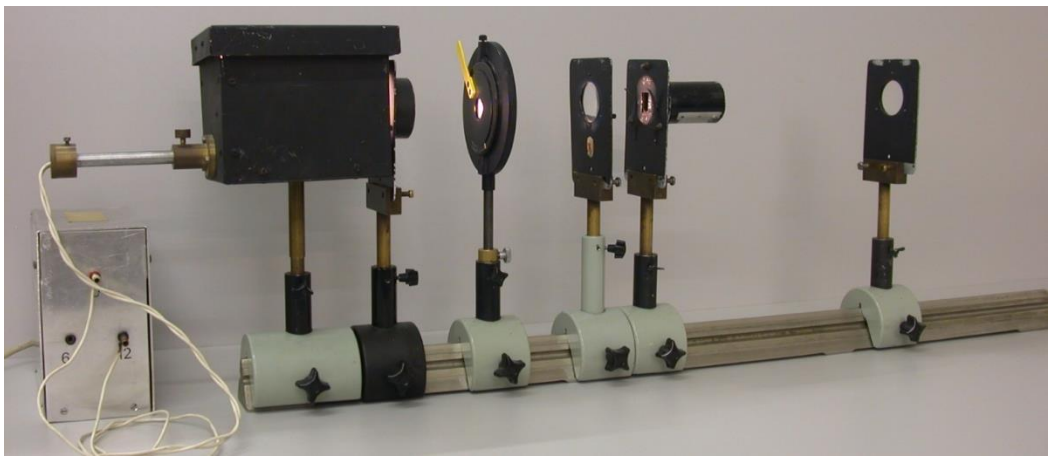
Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kettős kondenzor (f = 5 cm)
- Állítható rés
- 2db gyűjtőlencse (f = 20 cm)
- Egyeneslátású prizma fekete védőcsőben, lemezfoglalatban
- Ernyő

Leírás

Az ábrán látható összeállításban az egyeneslátású prizma után, az optikai tengelyre, a nyaláb útjába egy 20 cm fókusztávolságú gyűjtőlencsét helyezünk úgy, hogy az ernyőn a rés éles képét kapjunk. Figyeljünk arra, hogy az L gyűjtőlencsén a teljes nyaláb átmenjen. (Ez az ernyő és az L lencse mozgatásával érhető el.) Ha rosszul állítjuk be az izzó-kondenzor távolságot, akkor a rés képe az ernyőn nem teljesen fehér, mert az izzószál szerkezete is látszik. Ezen az izzó előre- vagy hátra mozgatásával segíthetünk.





b) Folytonos színkép színeinek részleges egyesítése

A kísérlet célja

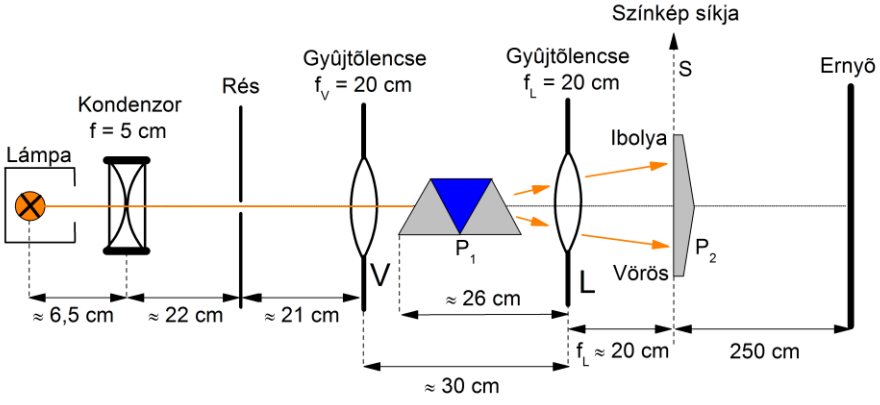
A komplementer színek bemutatása kettősprizma segítségével, valamint annak demonstrálása, hogy komplementer színek egyesítésekor fehér fényt kapunk.

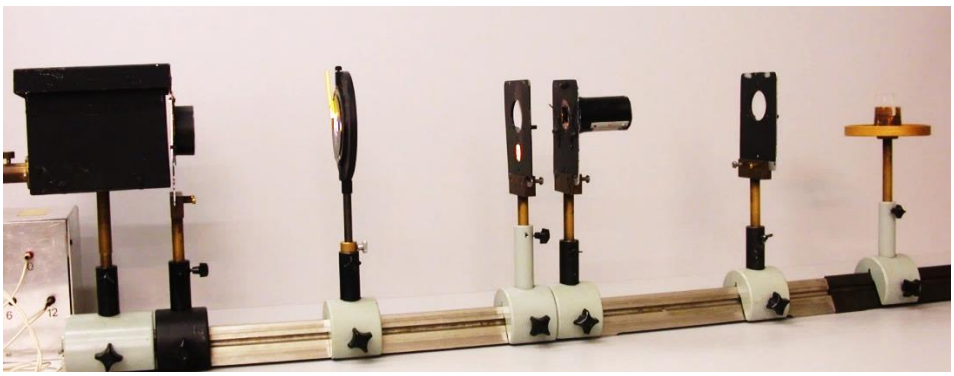
Szükséges anyagok, eszközök

- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kettős kondenzor (f=5 cm)
- Állítható rés
- Két gyűjtőlencse (f=20 cm)
- Egyeneslátású prizma fekete védőcsőben, lemezfoglalatban
- Fresnel-féle biprizma, parafadugóban
- Prizmatartó (kerek) asztalka nyéllel
- Ernyő

Leírás

Készítsük el az ábrán látható összeállítást a P_2 Fresnel-féle prizma nélkül. Ehhez a kondenzort helyezzük közvetlenül a vetítőlámpa után, majd kb. 20 cm-re helyezzük el a rést. A V vetítőlencsét a réstől éppen fókusztávolságnyira tesszük, így V-t párhuzamos nyaláb hagyja el. Az egyeneslátású prizma helyzete emiatt nem kritikus. Az L lencse helyét úgy állítsuk be, hogy az ernyőn a rés éles (fehér) képét kapjuk meg. Végül helyezzük el a Fresnel-féle prizmát prizmatartó asztalkán az L ernyő felöli fókuszsíkjában.





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Magyarázzuk meg az ernyőn látható „zászló” kialakulását!
- Milyen színű „zászló” hozható még létre ezzel a módszerrel? Miért nem lehet tetszőleges komplementer színpárt létrehozni?

9.5. Higanygőz-lámpa spektrumának megfigyelése egyeneslátású prizmával, ún. mattpálcás módszerrel

A kísérlet célja

Higanygőz lámpa spektrumának egyszerű bemutatása.

Szükséges anyagok, eszközök

- Higanygőz-lámpa, fojtótekerccsel egybeépítve
- Mattpálca alumínium lemezbe foglalva
- Egyeneslátású prizma fekete védőcsőben, lemezfoglalatban

Leírás

A higanygőz-lámpát a fojtótekercs bedugásával lehet üzembe helyezni. Néhány perc szükséges, míg a maximális intenzitását eléri. A higanygőz-lámpa elé helyezzük az alumínium lemezbe foglalt matt üvegpálcát. A közvetlen a szemünk elé tartott prizmán keresztül nézzük a matt pálcát és figyeljük meg a higanygőz lámpa spektrumát. Ehhez a prizma törőélének párhuzamosnak kell lennie az üvegpálcával.

Vigyázat! Ne nézzünk közvetlenül a lámpába, mert az a szemünk károsodásához vezethet! Csak addig működtessük a lámpát, amíg indokolt!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért használunk matt pálcát egyszerű rés helyett?
- Mi a vonalas színkép jelentősége?

Módszertani kiegészítések

- Mattpálca egyszerűen készíthető: egy üvegbotot dörzsöljünk meg néhányszor finomszemcsés csiszolópapírral. Érdemes egy rést tartalmazó, hajlított alumínium lemezre is ráragasztani, hogy biztosan csak ezen keresztül világítson a higanygőz lámpa, ezzel védve a hallgatóság szemét.

9.6. Higanygőz- és nátriumgőz-lámpa spektrumának vetítése

a) Higanygőz- és nátriumgőz-lámpa spektrumának kivetítése egyeneslátású prizmával, egyszerű lencsével

A kísérlet célja

A kísérlet célja a higany és nátrium spektrumának vetítése a látható tartományban.

Szükséges anyagok, eszközök

- Nátriumgőz-lámpa, fojtótekercsel egybeépítve
- Higanygőz-lámpa, fojtótekercsel egybeépítve
- Optikai sín
- Állítható rés
- Egyeneslátású prizma
- Vetítőlencse (f = 20 cm)
- cink-szulfid (ZnS) bevonatú ernyő
- Kettős kondenzor (f = 5 cm)
- Ernyő

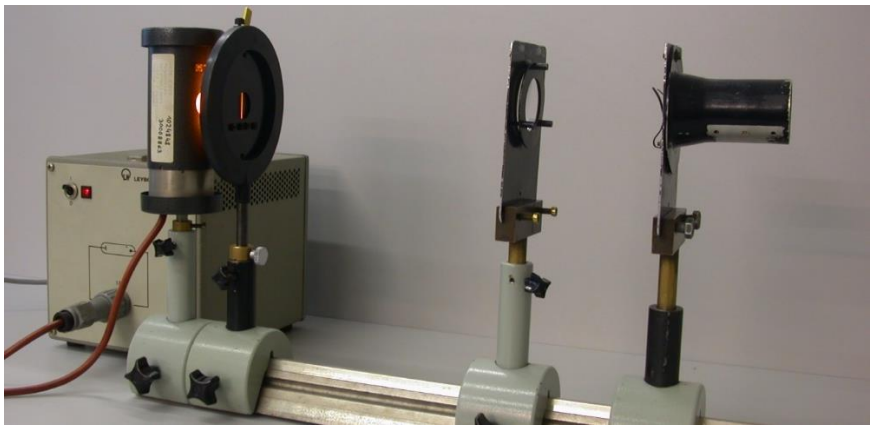
Leírás

A 9.3/b feladatban használt összeállítást alkalmazzuk, azonban most rakhatjuk a rést közvetlenül a fényforrás (higany- vagy nátriumgőz-lámpa) elé. (Itt is ügyeljünk arra, hogy ne akadályozzuk a hűlést.) Az ernyőt kb. 2 m-re helyezzük a réstől. A vetítőlencsét az ernyő és a rés közé úgy tesszük, hogy az ernyőn a rés éles képe jelenjen meg, majd a lencse után betesszük az egyeneslátású prizmát. A vetítőlencse mozgatásával élesítjük a spektrumot. Ha a színkép vonalai átfednek, csökkentsük a rés méretét. Vonalas színkép vetítésénél keskenyebb rést használjunk, mint folytonos színkép vetítésénél, hogy az egyes vonalak jobban elkülönüljenek.

Vetítsük ki a higanygőz lámpa spektrumát! Tartsunk cink-szulfidos ernyőt a kivetített spektrum elé, és figyeltessük meg, hogy változott-e a spektrum!

Vetítsük ki a nátriumgőz lámpa spektrumát! Helyezzünk egy színes képet a nátriumgőz lámpa fényébe. Milyennek látszódik a színes kép?

Vigyázat! Ne nézzünk közvetlenül a lámpába, mert az a szemünk károsodásához vezethet! Csak addig működtessük a lámpát, amíg indokolt!



Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mit mutathatunk ki a ZnS-os ernyővel?

b) A higanygőz lámpa spektrumának kivetítése kvarc prizmával és kvarc lencsével

A kísérlet célja

A kísérlet célja a higany spektrumának vetítése a látható és nem látható tartományban és a higany ultraibolya tartományba eső színképének bemutatása.

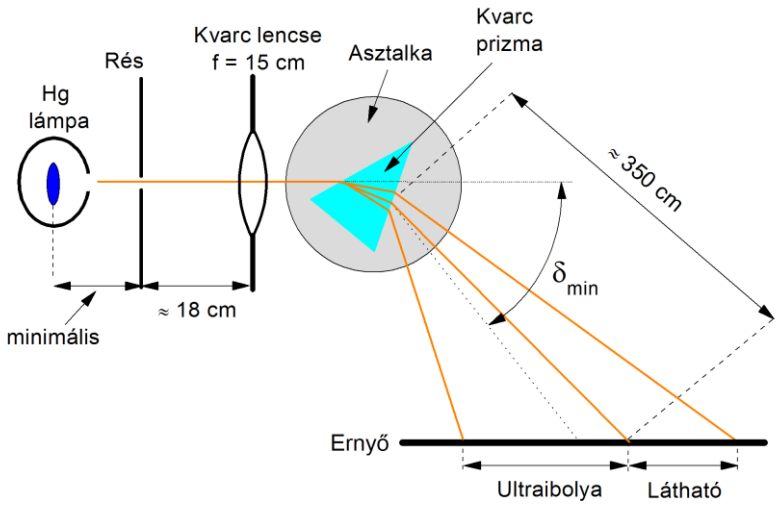
Szükséges anyagok, eszközök

- Higanygőz lámpa, fojtótekerccsel egybeépítve
- Optikai sín
- Állítható rés
- Kvarc lencse (f = 15 cm, Leybold)
- 60 fokos törőszögű kvarc prizma
- Prizmatartó (kerek) asztalka nyéllel
- cink-szulfid (ZnS) bevonatú ernyő
- Fénymásoló papír
- Ernyő

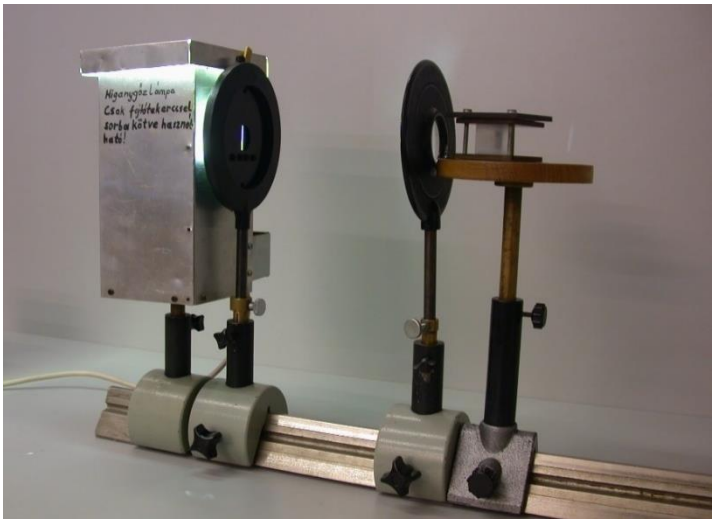
Leírás

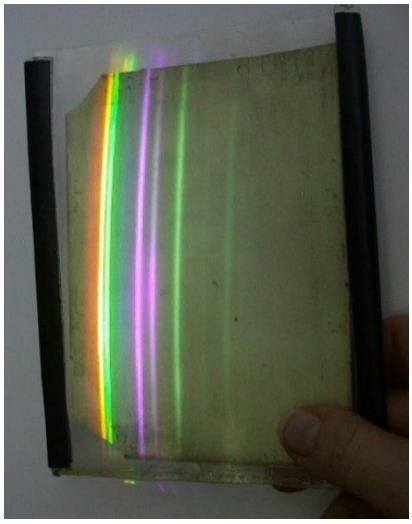
Az 9.3/a feladatban használt összeállítást alkalmazzuk kisebb módosítással. A lámpát cseréljük ki higanygőz lámpára és ne rakjunk kondenzort a lámpa után, hanem a rést rakjuk közvetlenül a lámpaház elé. (Ügyeljünk arra, hogy ne akadályozzuk a hűlést!) Az ernyőt kb. 2 m-re helyezzük a réstől. A kvarc vetítőlencsét az ernyő és a rés közé úgy tegyük, hogy az ernyőn a rés éles képe jelenjen meg, majd a lencse után tegyük be a kis asztalkára helyezve a kvarc prizmát. A prizmát állítsuk a minimális deviációra. Az ernyőt kissé elforgatva és a vetítőlencse helyzetén kicsit változtatva kapjuk az éles spektrumot.

Vetítsük ki a higanygőz lámpa spektrumát kvarc lencsével és kvarc prizmával először egy ernyőre, majd az ernyőre helyezett fénymásolópapírra.



Tartsuk a kis cink-szulfidos ernyőt a kivetített spektrum elé, és figyeltessük meg, hogyan változik a spektrum.





Vigyázat! Ne nézzünk közvetlenül a lámpába, mert az a szemünk károsodásához vezethet! Csak addig működtessük a lámpát, amíg indokolt!

Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Miért és miben különbözik a kivetített spektrum, ha kvarc helyett üveg optikai eszközöket használunk?
- Mit mutat ki a cink-szulfidos ernyő?

Módszertani kiegészítések

- A kvarc optikai eszközök könnyen, hamar koszolódnak, megváltoztatva ezzel az ultraibolya sugárzás abszorpcióját. Ezért használat után egyből érdemes dobozba tenni őket.
- A cink-szulfidos ernyő nagyon jól láthatóvá teszi a jelenséget, de annak hiányában az ultraibolya vonalakat az egyszerű írólap is megmutatja (ultraibolya fény hatására kéken dereng). Érdemes a nem látható vonalak esetén megmutatni, hogy más anyagon (például a kezünkön) tényleg nem látszik
- Felmerülhet a diákokban a kérdés: Egy izzó gáz spektruma miért vonalas, és egy izzó szilárd fémé miért folytonos? Hiszen mindkettő atomokból áll, melyekben az elektronok diszkrét pályákon keringhetnek és az energiapályák közötti ugrálás során diszkrét energiájú fényt tudnak kisugározni, illetve elnyelni. Ezt a gondolatot támasztja alá, hogy a Rutherford szórási kísérletét aranyfólián végezte és utána tanítjuk erre alapozva a Bohr-modellt, tehát biztosan aranyra is jó a modell. Persze az izzó aranynak folytonos a színképe. Ennek magyarázata bonyolult. Az ellentmondás feloldásához érdemes elmondani a Bohr-modell milyen anyagoknál használható, valamint, hogy fémekben vannak delokalizált elektronok, melyek energiája folytonosan változtatható, ezért lesz folytonos a színkép.
  Természetesen szilárd testek esetén is vannak karakterisztikus vonalak. Tipikusan nagyenergiájú elektronokkal lehet gerjeszteni őket, és röntgen-sugárzás tartományába eső fotonokat sugároznak ki.

9.7. Kálium-permanganát-oldat abszorpciós színképének vetítése

A kísérlet célja

Kálium-permanganát-oldat abszorpciós színképének vetítése.

Szükséges anyagok, eszközök

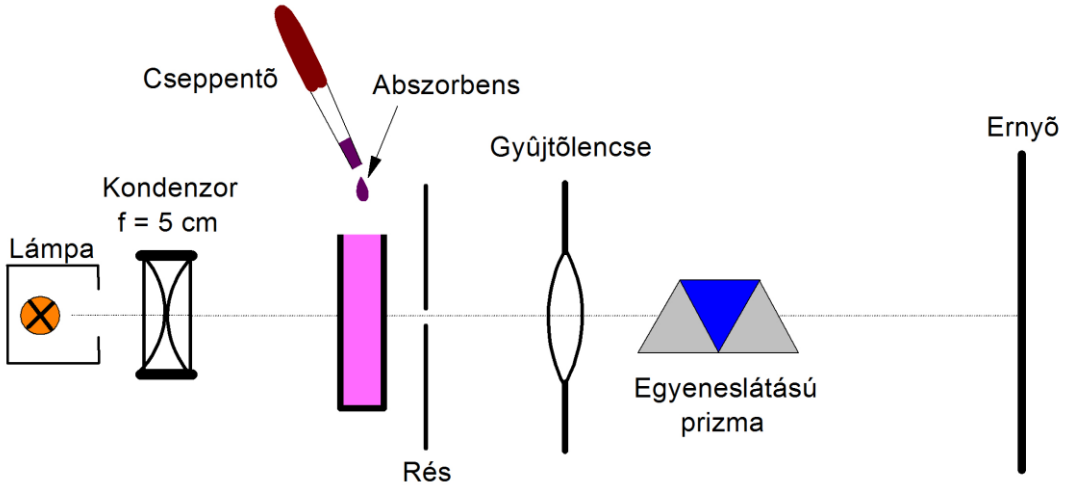
- Lámpa (12 V, 100 W, transzformátorra kötve)
- Optikai sín (1 m-es)
- Kondenzor
- Állítható rés
- Gyűjtőlencse (f=20 cm)
- Egyeneslátású prizma
- Hasáb alakú küvetta (egyenes falú edényke)
- Prizmatartó (kerek) asztalka nyéllel
- Ernyő
- Kálium-permanganát-oldat
- Főzőpohár, 50 ml-es
- Szemcseppentő

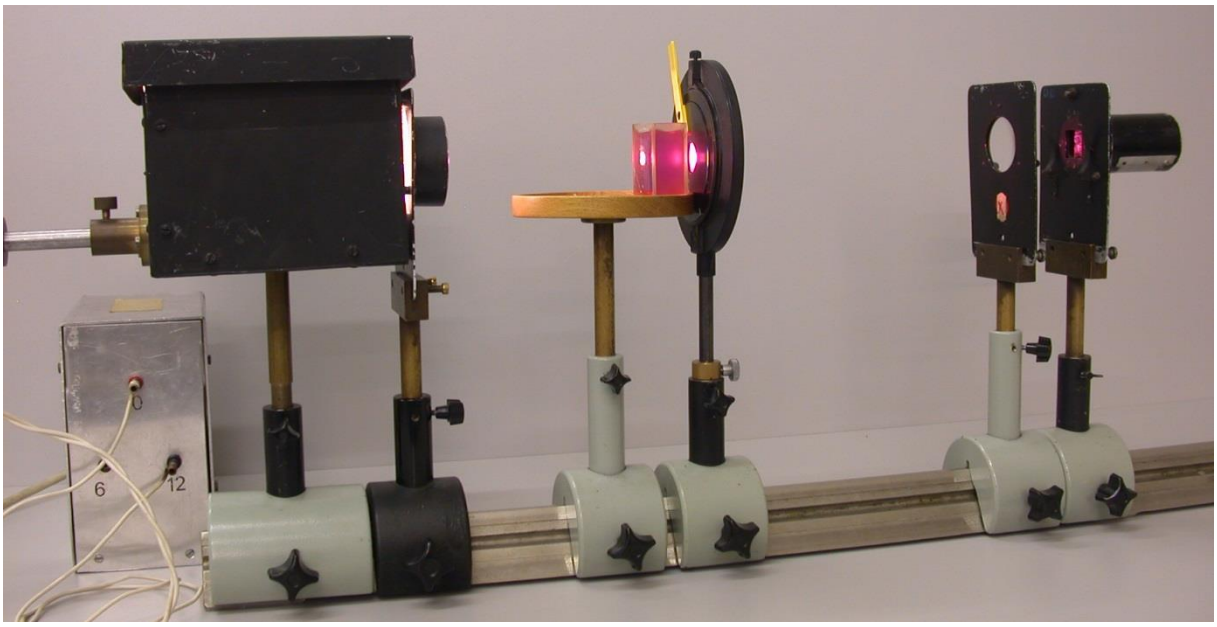
Leírás

A vetítőlámpa háza elé közvetlenül tegyük a kondenzort (egy kis rést hagyva a hűlésnek), majd a prizmatartó asztalka után helyezzük el a rést, ami kb. 0,5 mm széles legyen. Állítsunk be mindent úgy, ahogy az 9.3/b. feladatban tettük, azaz a rés éles képét vetítsük ki az ernyőre először a prizma és az abszorbens nélkül, majd tegyük be az egyeneslátású prizmát, igazítsunk a vetítőlencsén, hogy éles legyen a (folytonos) spektrum. Végül helyezzük az asztalkára a vízzel félig telt küvettát úgy, hogy a fény a vízen keresztülhaladva essen a résre. (Ez a prizmatartó asztalka magasságának változtatásával érhető el. Érdemes a réshez közel tenni a küvettát.)

Töltsünk a kálium-permanganát-oldatból egy keveset a főzőpohárba. Cseppentsünk a küvettába az oldatból először egy cseppet a szemcseppentővel. Ha szükséges, csökkentsük a rés méretét.

Figyeljük meg, mi változik, ha még egy csepp oldatot juttatunk a küvettába.





Kísérlethez kapcsolódó kérdések

- Mi az abszorpciós színkép?
- Miért jön létre a kísérletben abszorpciós színkép?
- Mire használható az abszorpciós színkép?

Módszertani kiegészítések

- A jelenség magyarázatában van egy érdekes látszólagos ellentmondás. Magyarázatként azt szoktuk említeni, hogy a bejövő fény magasabb energiájú állapotra gerjeszti az oldat részecskéit. Ezt csak diszkrét energiákon tudja megtenni, így csak bizonyos vonalak hiányoznak a folytonos spektrumból. Azonban a magasabb energiájú állapotba került elektronok (mivel energiaminimumra törekednek) azonnal vissza is ugranak, olyan fényt kisugározva, mint az előzőleg elnyelt. (Ez nem teljesen igaz, mert más energiaszintről is betöltődhet az adott elektron megüresedett helye, de mindenképpen hasonló fotonokat kell sugároznia, mint az elnyelt). Akkor miért látunk sötét vonalakat, ha amit elnyelt, azt ki is sugározza? Ennek feloldása az, hogy míg a bejövő fény irányított, addig a kisugárzott a tér bármely irányába mehet. A kisugárzott fényről meg is győződhetünk, mert ha oldalról nézünk a küvettára, akkor zöldnek látjuk az oldatot a fénycsík környékén (leginkább a zöld vonalakat hiányoznak az átmenő spektrumból).

9.8. CD-spektroszkóp készítése

A kísérlet célja

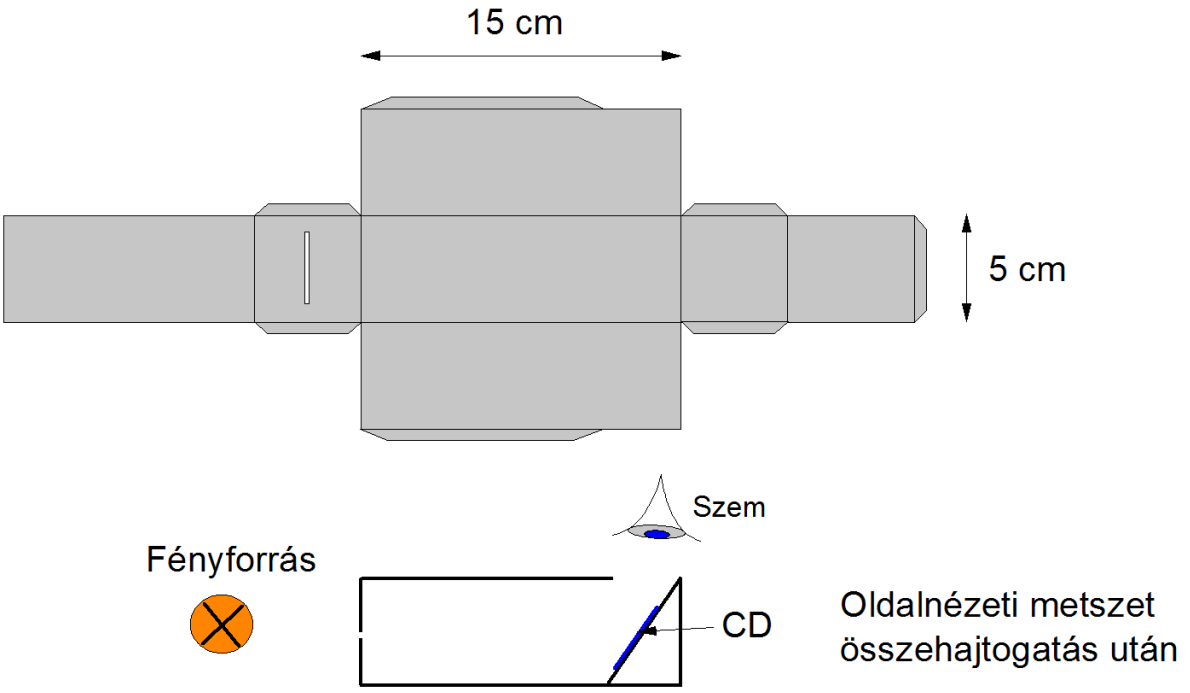
Spektroszkóp készítése házi eszközökkel.

Szükséges anyagok, eszközök

- Karton, vagy valami vastagabb papír (a doboz elkészítéshez)
- Ragasztó
- CD töret

Leírás

A kísérleti összeállításhoz a következő ábrának megfelelő sablon szerint lehet a dobozt elkészíteni (a laboron kész összeállítás van). Még a felső lemez beragasztása előtt érdemes a CD töretet rögzíteni a jobb oldali nyúlványból készülő kb. 60°-os szögben döntött felületre. A kész eszköznél a szűk rést kell a vizsgálandó fényforrás felé fordítani és felülről rátekinteni a CD-re.



Feladatok

- Figyeljük meg egy hagyományos izzó lámpa, egy fénycső, egy higanygőz lámpa, valamint egy nátriumgőz lámpa spektrumát. Fogalmazzuk meg a különbségeket!
- Miben különbözik (a színek sorrendjének tekintetében) a CD-vel létrehozott spektrum attól, mint amit prizmával tudunk bemutatni.

10. A demonstrációs laborról

A jegyzetben megjelenő kísérletek az ELTE Fizika Demonstrációs Laborjának kísérletei. Ebből kifolyólag szeretnénk ebben a fejezetben egy rövid áttekintést adni a labor munkájáról, követelményeiről és a számonkérés módjáról.

A tantárgy célja

A fizika szakmódszertani laboratórium (demonstrációs laboratórium) a középiskolai és általános iskolai tanárképzést szolgálja. A laboratóriumi foglalkozások célja, hogy tanárjelöltjeinket felkészítsük arra, hogy tanári munkájuk során képesek legyenek:

- **a természeti jelenségek iránti érdeklődés felkeltésére,**
- **a jelenségek közötti összefüggések, törvények bemutatására, és**
- **a tanulók természettudományos gondolkodásának fejlesztésére.**

Az érdeklődés felkeltése nem képzelhető el tanári demonstráció és tanulói kísérletezés nélkül. Ezért szükséges, hogy a tanárjelöltek:

- **megismerjék a fizikatanítás demonstrációs eszközeit, szertári anyagát,**
- **gyakorolják az eszközök használatát, a kísérleti berendezések összeállítását,**
- **megismerjék a tanári demonstráció és a tanulói kísérleteztetés hatékony módszereit.**

Szükséges előképzettség

Fizikatanár, illetve fizikus szakon elvégzett alapozó kísérleti és elméleti fizika tárgyak ismerete. Laboratóriumi munkában való jártasság, amelyet az I.-III. évben előírt laboratóriumok elvégzése jelent. Ajánlott továbbá: a tanárképzéshez kapcsolódó általános pszichológiai, pedagógiai stúdiumok ismeretének anyaga.

A tantárgy tartalma

A Demonstrációs Laboratórium programjának teljesítése speciális hozzáállást (szakmódszertani) és speciális (demonstrációt szolgáló) eszközöket igényel. Ez a körülmény a többi laboratóriumtól alapvetően megkülönbözteti: koncepciója, tematikája és eszközparkja sem hasonlítható a tanárképzésben ugyancsak nélkülözhetetlen, de merőben más célkitűzésű laboratóriumokéhoz.

Hallgatóink **két félév során 20 gyakorlatot végeznek el a heti 3 órás foglalkozásokon**. A hallgatói csoportok optimális létszáma 10 fő. A hallgatók egyénileg dolgoznak, beosztás szerint körbejárva az első, majd a második félévre beállított 10-10 gyakorlatot. Egy-egy foglalkozás alkalmával a hallgatók 8-10 demonstrációs-, illetve mérőkísérlettel találkoznak. A két félév anyaga mintegy **200 kísérletet** tartalmaz. A laborokra előzetesen fel kell készülni és a füzetet folyamatosan vezetni (lásd. A laborfüzet formai és tartalmi követelményei)

A labor menete

1) A hét kísérlete (a labor első 15 perce. A kísérletet maximum 7 percben kell előadni, és a táblán dokumentálni, melyet 8 perc diszkusszió követ. Minden hallgatónak egyszer elő kell adnia a félév során. A füzetben benne kell lennie mindegyiknek, külön fejezetben, az órán elhangzó módszertani megjegyzésekkel kiegészítve)

2) Önálló kísérletezés a füzetnek megfelelően.

3) Kiselőadások a laborvezetőknek (a bemutatandó kísérleteket az óra elején kijelöljük).

A hallgatói munka értékelése

A hallgatók a laboratóriumi munkájukra mindkét félévben gyakorlati jegyet kapnak. A jegy megajánlása a következők alapján áll össze:

A) Füzet tartalma (max. 20 pont, lásd: A laborfüzet ellenőrzésének menete, kritériumai)

B) Órai munka: Minden hallgatónak (minden órán) be kell mutatnia az egyik oktató által kiválasztott kísérletet (0-30 pont, minden órán 0-1-2-3 pontot osztunk a produkció alapján)

Bemutatók értékelési szempontjai és pontozási irányelvei:

> 3 pont: Önállóan, folyamatosan előadott, szakmailag helyes bemutató. Felmerülő kérdésekre értékelhető válaszok.
>
> 2 pont: Önállóan folyamatosan előadott, szakmailag helyenként pontatlan bemutató. Felmerülő kérdésekre értékelhető válaszok.
>
> 1 pont: Összeszedetlen, szakmailag helyenként pontatlan bemutató. Felmerülő kérdésekre értékelhető válaszok
>
> 0 pont: Akadozó, összeszedetlen, szakmailag több helyen hibás előadás. Felmerülő kérdésekre pontatlan válaszok.

C) Zárthelyi dolgozat az utolsó előtti, vagy az utolsó órán. Minden mérésből egy kérdés (0-40 pont). Kritérium a jegy megszerzéséhez, hogy a ZH-n legalább 10 pontot kell szerezni!

D) A bemutatott hét kísérletének szakmai tartalma (0-2-4-6-8-10 pont)

Irodalom

A laboron elvégzendő kísérletek részletes leírása letölthető a labor honlapjáról (demlabor.elte.hu) A laboratóriumi munkára való felkészülést, az elméleti alapok felfrissítését emellett számos irodalom segíti:

[1] Budó Á.: Kísérleti Fizika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.

[2] Budó Á.: Kísérleti Fizika II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.

[3] Budó Á. és Mátrai T.: Kísérleti Fizika III. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977.

[4] Fizikai Kísérletek Gyűjteménye I., szerkesztő Juhász A., Arkhimédész Bt. & TYPOTEX Kiadó, Budapest, 1994. (***http://metal.elte.hu/~phexp***)

[5] Fizikai Kísérletek Gyűjteménye II., szerkesztő Juhász A., Arkhimédész Bt. & TYPOTEX Kiadó, Budapest, 1994.

[6] Fizikai Kísérletek Gyűjteménye III., szerkesztő Juhász A., Arkhimédész Bt. & TYPOTEX Kiadó, Budapest, 1995.

[7] Jegyzet a IV. éves fizikaszakos tanárjelöltek demonstrációs laboratóriumi gyakorlatához. Szerk.: Párkányi L., Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.

[8] Hevesi Imre: Elektromosságtan, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1998.

[9] Tasnádi P., Skrapits L, Bérces Gy.: Mechanika I. Dialóg Campus, Budapest-Pécs, 2004

[10] Tasnádi P., Skrapits L, Bérces Gy. és Litz J.: Mechanika II, Hőtan. Dialóg Campus, Budapest-Pécs, 2004

[11] Fizika tanítása a középiskolában I, szerkesztő Juhász, Jenei, ELTE TTK, 2015 (http://ttomc.elte.hu/kiadvany/fizika-tanitasa-kozepiskolaban-i

[12] Levius E.: Optikai Demonstrációs Kísérletek , Tankönyvkiadó, Budapest, 1990.

A jegyzetben több helyen hangsúlyozzuk, hogy középiskolások számára megérthető magyarázatokat várunk. Ajánlott középiskolás tankönyv a felkészüléshez:

[13] Gulyás János, Honyek Gyula, Markovits Tibor, Szalóki Dezső, Tomcsányi Péter, Varga Antal: Fizika 9, 10, 11. Műszaki Könyvkiadó, 2002

Az elméleti alapok áttekintését elsősorban ezekből a könyvekből várjuk. Kiemelten ajánljuk a Budó sorozatot [1-3], melyben (lényegében) a laborhoz szükséges teljes ismeretanyag megtalálható. Az optikai kísérletekhez a [12]-es, Leviusz-féle könyv nyújt nagy segítséget. Emellett kiemeljük a [13]-as pontban említett középiskolai tankönyvet, melyet szakmailag megfelelőnek találunk. Az internetes források (pl. wikipédia) használatát óvatosan kell kezelni, mert gyakran pontatlanok!

Egyéb technikai tudnivalók

i. Füzet hiányában, vagy erősen hiányos füzettel nem lehet a mérést megkezdeni, ha a füzet hiánya miatt valakit elküldünk az hiányzásnak számít.
ii. Minden laboron katalógust vezetünk, melybe bekerülnek a felelések pontszámai. (Katalógust a hallgató ellenőrzi, hogy belekerült-e az aznapi pontszám.)
iii. Pótlás nélkül maximum kétszer lehet hiányozni (de füzetben azoknak a méréseknek is szerepelnie kell).
iv. A labor házirendjét be kell tartani!
v. A kísérleti eszközöket a mérés nevével ellátott fiókban, vagy az alatta lévő szekrényben kell keresni.

A laborfüzet formai és tartalmi követelményei

A laborfüzetet kézzel kell írni. Ajánlott egy nagy méretű füzet használata, de lefűzött, különálló lapokra vezetett füzetet is elfogadunk. Minden kísérletnél a következő pontokba szedve várjuk a leírásokat:

1) Leírás és a kísérlet táblai rajza

A mérési elrendezés leegyszerűsített táblai ábrája. Néhány vázlatpontos felsorolás, hogy milyen eszközökkel mit csináltunk. Fontos, hogy a leírás alapján reprodukálható legyen a kísérlet. Nem a laborjegyzet lemásolását várjuk, hanem a lényegének kiemelését!

Alapelv: Olyan szintű leírás és rajz kell, amit tanárként a táblára is írnánk/rajzolnánk!

2) Tapasztalatok

Érzékszervekkel és/vagy műszerekkel mit érzékelünk/mérünk? Természetesen a mérési feladatok tapasztalatai, a mért eredmények is ide kerülnek, valamint az adatok kiértékelése.

3) Magyarázat

Fizikai törvények alapján magyarázzuk a tapasztaltakat, a jelenségeket! Fontos, hogy magyarázat akkor is szükséges, ha a laborjegyzet erre nem ad direkt utasítást!

4) Elméleti és módszertani kérdésekre a válaszok

Rövid tömör válaszok kellenek pontokba szedve a jegyzet pontjainak megfelelően.

Az órát megelőző felkészülés során csak az 1)-es pont kitöltését várjuk el, valamint azt, hogy a kulcstartalmakat kifejtse, ezzel bizonyítva, hogy a kísérletnél releváns elméleti hátteret áttekintette. Melegen ajánljuk, hogy a TELJES leírást készítsék elő: fogalmazzák meg az elvárt tapasztalatokat (ez legtöbb esetben könnyen megtehető) és a magyarázatot, igyekezzenek az elméleti kérdésekre választ adni, a mérőkísérleteknek tervezzenek előre táblázatot, stb. A füzet befejezését csak a félév végén ellenőrizzük. Amennyiben nem töltik ki folyamatosan a füzetet, akkor év végére olyan sok munka halmozódhat fel, ami a labor eredményes elvégzését veszélyezteti! A struktúra megértéséhez a honlapunkon mutatunk példát.

A laborfüzet ellenőrzésének menete, kritériumai

Az összes füzet részletes átolvasása és javítása sajnos lehetetlen. Az értékelésünk tökéletes átláthatósága jegyében a következőkben bemutatjuk a füzetek javításának metódusát és részpontszámait:

0) Teljesség ellenőrzése: a füzetnek 10 mérés (kulcstartalmak és az összes kísérlet), valamint az összes elhangzott hét kísérletének leírását tartalmaznia kell. Ennek ellenőrzését megkönnyíti, ha a mérések sorrendben vannak a füzetben, a hét kísérletei pedig külön fejezetben (szintén sorrendben)
1) Kulcstartalmak kifejtése és szakmai minősége (0-2 pont, 5-10 véletlenszerűen választott kulcstartalom ellenőrzése alapján)

2) Leírások struktúrája és szakmai tartalma (0-8 pont, 5-10 véletlenszerűen választott kísérlet leírása alapján)
3) Táblai rajzok szakmai minősége (0-5 pont, az előző pontban ellenőrzött leírásokhoz tartozó ábrák, valamint a teljes füzetről kialakult benyomás alapján)
4) Elméleti és módszertani kiegészítő kérdések tartalma (0-3 pont, 5-10 véletlenszerűen választott kérdésre adott válasz alapján)
5) Külalak/átláthatóság (0-2 pont, általános benyomás alapján)

Az ellenőrzésre kiválasztott kísérleteknél piros tollal való javítás, vagy pipa jelzés van. Kérjük, ha úgy érzi, hogy az értékelés (a véletlenszerű ellenőrzések miatt) nem tükrözi a füzet valós minőségét, akkor jelezze felénk és részletesebb elemzést végzünk (ami persze ronthat is az érékelésen). A füzet leadásának határideje hagyományosan a szorgalmi időszak utolsó napja. Ha a füzet szakmailag sok helyen hibás és/vagy hiányos, akkor a füzet javítására egyszer van lehetőség (1 hét határidővel).

A Demonstrációs Laboratórium gyakorlatai

I. félév

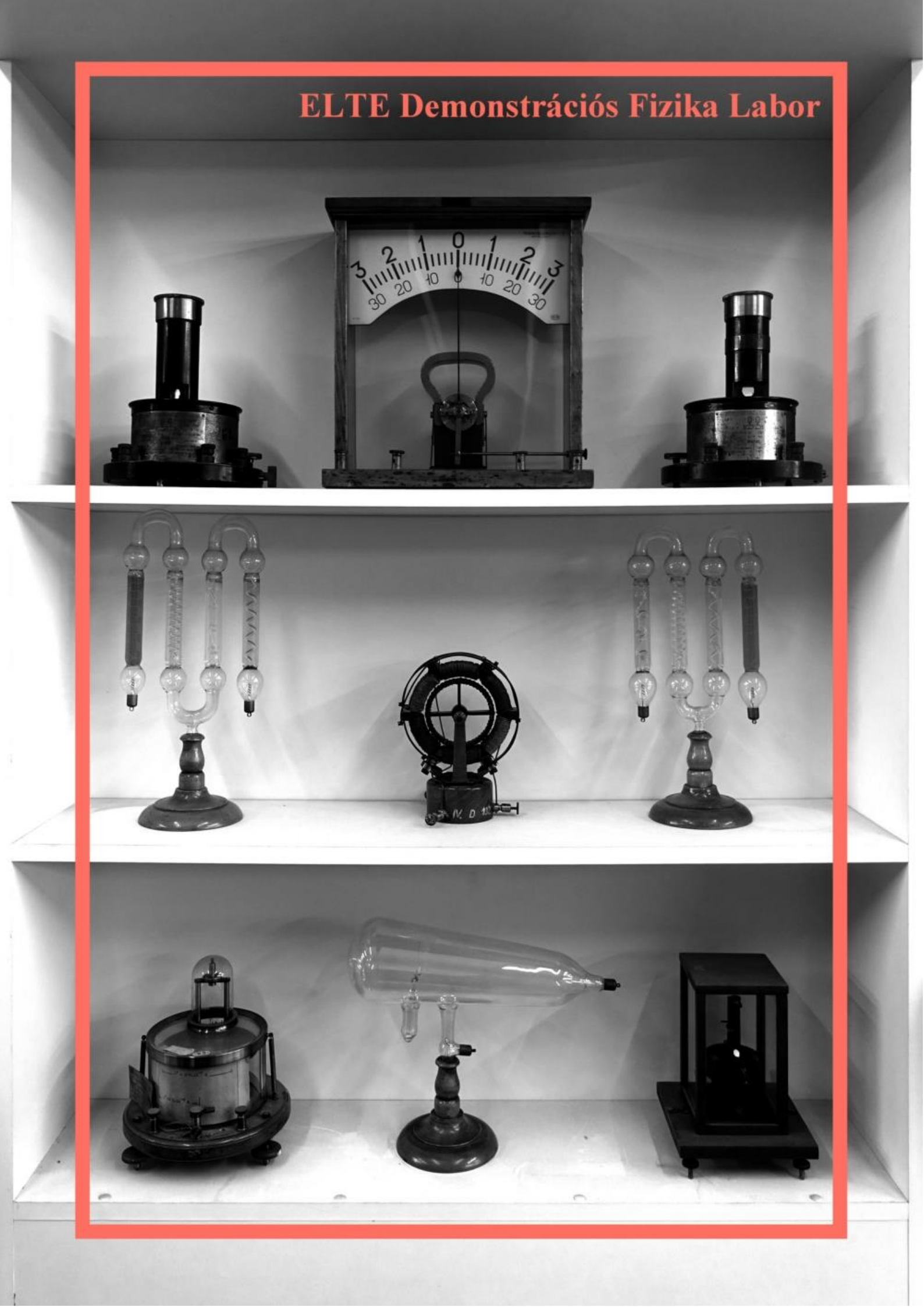
1. Hőtan 1 (gáztörvények, hőtágulás)
2. Hőtan 2 (halmazállapot változás, hőterjedés)
3. Anyag atomos szerkezete és felületi feszültség
4. Hidro(aero)dinamikai és sztatikai kísérletek
5. Kísérletek házi eszközökkel
6. Számítógépes mérések és demonstrációk
7. Mechanikai kísérletek I (kinematika, Newton-törvények)
8. Mechanikai kísérletek II (impulzus, forgómozgás)
9. Ingamozgás, rezgőmozgás
10. Hullámtani kísérletek

II. félév

1. Kísérletek egyenáramú áramkörökkel
2. Mágneses alapkísérletek
3. Az elektromágneses indukció
4. Kísérletek váltakozó áramú körökkel
5. Elektrosztatikai kísérletek
6. Elektrokémiai kísérletek és termofeszültség
7. Optikai alkalmazások
8. Geometriai optika
9. Hullámoptika
10. Színképek és polarizáció

Köszönetnyilvánítás

A jegyzet rengeteg helyen támaszkodik a demonstrációs labor több mint 30 éves gépelt jegyzetére. A legtöbb ott leírt kísérlet manapság is bemutatható, érdeklődésre tarthat számot. Bár a régi jegyzet írói nincsenek a dokumentumokban nevesítve, biztosan hosszú évek fejlesztő munkája van mögötte, amit a demonstrációs fizika labor korábbi vezetőinek és oktatóinak köszönhetünk: Bérces György, Illy Judit, Juhász András, Lévius Ernő, Főzy István, Párkányi László, Rajkovits Zsuzsanna, Skrapits Lajos. Köszönjük munkájukat, valamint, hogy éveken át csiszolgatták és karban tartották a labort, oktaták a fizikatanárok sok nemzedékét (többek között a jelenlegi jegyzet szerzőit).

Köszönjük továbbá az ELTE Oktatási és Képzési Tanácsa által nyújtott jegyzettámogatási pályázat támogatását!

ELTE Demonstrációs Fizika Labor