

mint egy jeges űrbeli szikladarab, mely a Nap közelébe érve erőteljesen szublimálni kezd, s ennek során alakul ki közismert szerkezete (mag, kóma, csóva).

Ha sikerül szárazjeget szereznünk, akkor a tanteremben is készíthetünk üstökösöt. Hozzávalók a főzéshez: porított szárazjég, jeges víz, homok és egy kis színezőanyag – utóbbival az üstökösökben előforduló szerves anyagot modellezhetjük. Az alkotóelemeket alaposan összekeverjük és összenyomkodjuk, például egy zacskóban; végül megkapjuk a magot jelképező „piszkos hógolyót”. Az elkészült üstökösöt egy vizes tálca alá helyezve, erősen megfújva (6. ábra) – tréfás utalást téve a napszél hatására –, a csóvához hasonló jelenség is lát-

ható lesz. (Ha nem szeretnénk csóvát előállítani, illetve nem áll rendelkezésre szárazjég, akkor *Nyerges Gyula* receptje szerint vaníliafagylalt és diódarabok segítségével is készíthetünk üstökösöt, amit a jól végzett munka jutalmaként el is fogyaszthatunk.)

Irodalom

1. SZTE Kísérleti Fizikai Tanszék, Módszertani Csoport <http://titan.physx.u-szeged.hu/~modszertan>
2. S. Tóth L.: Néhány demonstrációs eszköz a csillagászat tanításához. *Fizikai Szemle* 27/6 (1977) 219.
3. Kopasz K., Gingl Z., Makra P., Papp K.: A virtuális mérés technika kísérleti lehetőségei a közoktatásban. *Fizikai Szemle* 58/7–8 (2008) 267.
4. <http://astro.u-szeged.hu>

MINDEN, AMI ELLENÁLLÁS

Jendrék Miklós

Boronkay György Műszaki Középskola és Gimnázium, Vác

Az eredményes középiskolai fizikatanításban egyre fontosabb szerep jut a kísérletek bemutatásának, elvégzésének, elvégeztetésének. Ezt nemcsak a tantárgy iránti érdeklődés csökkenése indokolja. Általánosnak mondható a tanulók tapasztalatának szinte teljes hiánya. Ugyanakkor kevés a jó megfigyelő, illetve elemző képességgel rendelkező diák. Egy jelenség akármilyen szép is, gyakran láthatatlan marad, ha nem hívjuk fel rá embertársaink figyelmét. Ezért nem elég hivatkozni egy jelenségre, tapasztalatra, eszközre, hanem – lehetőség szerint – be is kell azt mutatni, akármilyen egyszerű is legyen az. Évek óta olyan kísérletek bemutatásával foglalkozom, amelyek egyszerű, hétköznapi eszközök felhasználásával könnyen összeállíthatók, vagy az „egyszer kell csak elkészíteni” kategóriába sorolhatók. A kísérletek, egyszerűségük ellenére, rengeteg kiaknázatlan lehetőséget rejtenek magukban, amelyeket csak akkor tudunk kihasználni, ha magunk próbáljuk meg saját eszközeink segítségével azokat reprodukálni.

Az 52. Országos Középszkolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatón az elektromos ellenállás fogalmával kapcsolatos, többnyire könnyen megismételhető, egyszerűen elvégezhető kísérletek bemutatására vállalkoztam.

Az ellenállás az elektromos jelenségek témakörében különös helyet foglal el. Lehet hasznos, ha fogyasztóról van szó, vagy nemkívánatos, ha az energia szállításáról. Az ohmos ellenállás jól felismerhető hőhatása alapján.

Az áram hőhatása

Az első kísérlet egy spirálarakú fűtőszál izzítása (1. ábra). Egyszerű, klasszikus kísérlet, sok tanulsággal:

1. A huzal felizzásáig bizonyos idő telik el. Ez az idő az izzításhoz szükséges áramerősségtől, valamint a fűtőszál egyensúly után beállt hőmérsékletétől függ.

2. Hevítés közben jól megfigyelhető a hőtágulás jelensége.

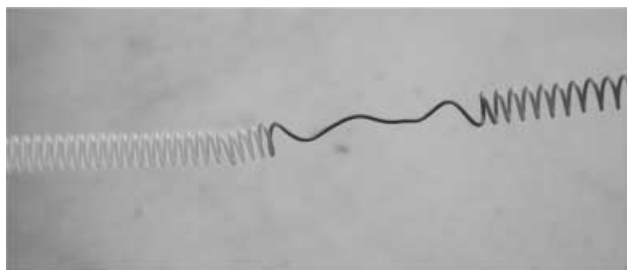
3. A fűtőszál nem egyformán izzik: ahol sűrűbbek a menetek, ott magasabb a hőmérséklet.

4. Az izzás mértéke légáramlással (fújással) jelentősen csökkenthető. Így szemléltethető a hűtési célokat szolgáló ventilátor alkalmazása: projektor, írásvetítő, processzor stb.

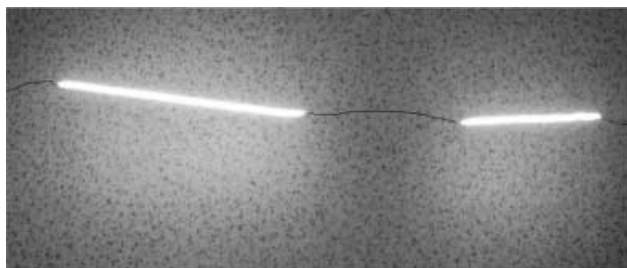
5. Az áram korlátozására előtét-ellenállásként hajszárítót használtam, ami ugyan nem gazdaságos (és még zajos is), de kisebb és könnyebb, mint egy transzformátor.

Figyelem!

A hálózati feszültséggel végzett kísérletek az úgynevezett „sohase ismételd meg” kategóriába tartoznak. Aki mégis szeretné elvégezni, tudnia kell, ehhez nem bátorság, hanem szakmai felkészültség, valamint a balesetvédelmi előírások szigorú betartása szükséges. Amennyiben a kísérlet nem végezhető el törpefeszültséggel, illetve leválasztó transzformátorral, feltétlenül ajánlott egy tapasztalt szakember (fizikatanár) felügyelete, irányítása. Gondoskodni kell a száraz, jól szigetelő padlózatról (gumialátétről) csakúgy, mint a megfelelő szigetelésű lábbeliről. A kísérletek elvégzése nagy körültekintést igényel. Ügyelni kell arra, hogy elvégzésük során nehegy megérintsünk földelt fémtárgyakat: fűtőtestet, vízcsapot stb. A használt műszerek megfelelő paramétereiről (pl. belső ellenállás), valamint helyesen megválasztott mérés határról minden esetben külön meg kell győződnünk. Balesetmentes kísérletezést kívánok!



1. ábra. Az áram hőhatása



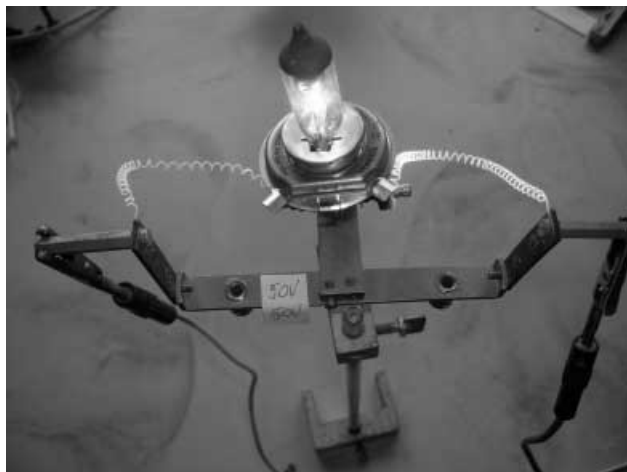
2. ábra. Különböző fajlagos ellenállású huzalok izzítása

6. Ha rövidere zárjuk az izzó spirál egy szakaszát, annak izzása azonnal megszűnik, a huzal többi része még jobban felizzik, miközben a megnőtt árammal arányosan megnő a hajszáritó ventilátormotorjának fordulatszáma.

A következő kísérletben sorosan kapcsolt, különböző fajlagos ellenállású huzalok viselkedését vizsgáljuk (2. ábra). A kísérlet amelltt, hogy látványos, rendkívül tanulságos: a konstantán huzalszakaszok egyszerre kezdenek el izzani, tehát a töltéshordozók az elektromos mező hatására egyszerre indulnak el az áramkör minden pontjában. A rézhuzaldarabokat akár meg is érinthetjük, nem égetjük meg a kezünket.

A fizikában (még) kevésbé jártas, de érdeklődő tanulók szokták feltenni a kérdést, hogy vajon hogyan tudja az áram, hogy hol a fogyasztó, hol kell kifejtenie a megfelelő (pl. hő) hatást? Erre a következő – szintén klasszikus, de nagyon szép – kísérlet ad választ. Egy 12 voltos gépkocsi fényszóróégőt nagy fajlagos ellenállású huzalok közbeiktatásával üzemelte-

3. ábra. Melyik a „fogyasztó”?



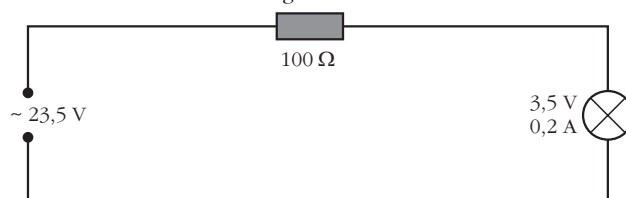
tünk (3. ábra). Áramkorlátozásra itt is kiválóan alkalmas az előző kísérletben is használt hajszáritó. Jól látható, hogy a vezetők is ugyanolyan intenzíven izzanak, mint az égő volfrámszála. Tehát, nem tudja az áram, hol a fogyasztó. Nekünk kell a megfelelő ellenállású vezetők alkalmazásával gondoskodni arról, hogy az energia túlnyomó része a fogyasztóba jusson.

Hogyan csökkenthető a veszteség?

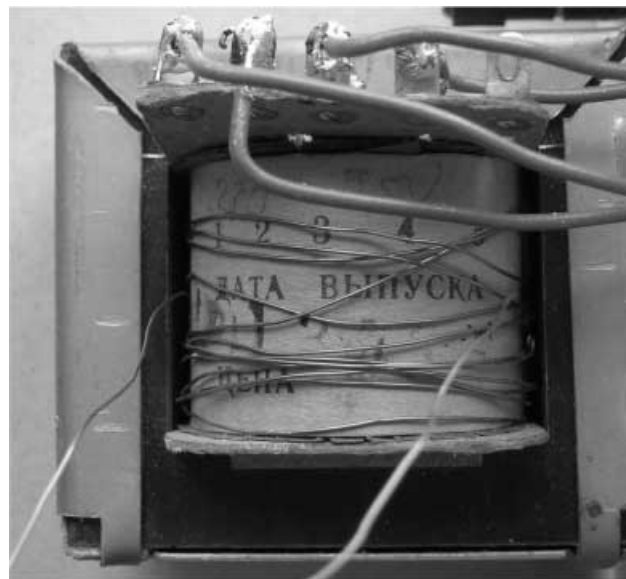
Amennyiben rendelkezésünkre áll a megfelelő feszültségű energiaforrás, szükségtelemmé válik az előtét-ellenállás használata. Viszont az összekötő vezetékek ellenállása akkor is jelen van, ami ugyanúgy előtét-ellenállásként viselkedik. Még kis fajlagos ellenállású, de hosszú huzalok alkalmazása esetén is jelentős veszteség léphet fel, amelynek csökkentésére használják a magasfeszültségű távvezetéseket. A veszteségek ily módon történő csökkentésének lehetőségét vizsgáljuk meg egy konkrét példán. Legyen 100 ohm a veszteséget jelképező távvezeték ellenállása. Kapcsoljuk sorba egy 3,5 V, 0,2 A zseblámpaégővel. Ahhoz, hogy az izzó teljes fényel világítson, a sorosan kapcsolt áramkörti elemekre 23,5 V feszültséget kell kötni (4. ábra). Ilyenkor a veszteséges teljesítmény: $P = I^2 R_{veszt} = 4 \text{ W}$, a hatásfok: $\eta = R_p / R_{összes} = 15\%$.

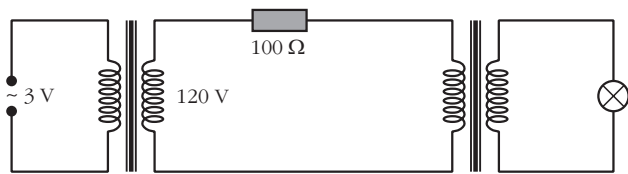
A távvezeték kialakításához szükségünk van két – erre a célra alkalmas – transzformátorra. Taneszközöket gyártó cégek katalógusaiban is megtalálhatók a

4. ábra. Feszültségosztás előtét-ellenállással

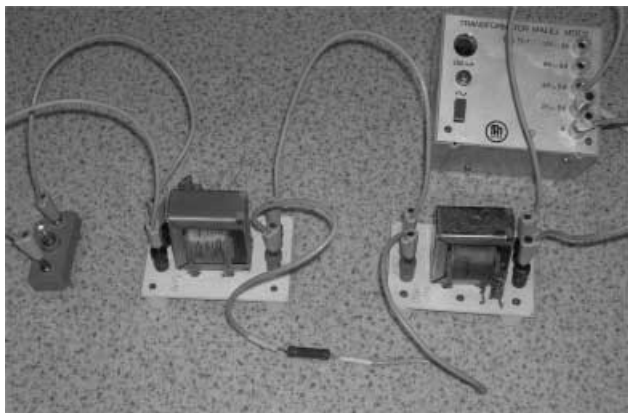


5. ábra. A távvezeték egyik transzformátora





6. ábra. A távvezeték kapcsolási rajza



7. ábra. Az összeállított távvezeték

távvezeték megépítéséhez szükséges alkatrészek, amelyek ára több tízezer forint. Ennél lényegesen olcsóbb, a gyári eszköz paramétereit biztosító megoldást választottam.

Régi tv-készülékekből szereltem ki a függőleges eltérítő egység végerősítő fokozat transzformátorait. Az eszközök paramétereit a következőképpen határoztam meg: a meglévő tekercsre a vasmag megbontása, szétszedése nélkül, vékony rézhuzalból még tíz menetet csévéltem (5. ábra). A nagyobb menetszámú (primer) tekercsre 100 V-ot kapcsolva, az utólag készített tekercsen 0,5 V feszültséget mértem. Tehát, 20 menetre jut 1 volt, 2000-re 100. Így, a primer tekercs 2000 menetes. A szekunder tekercsen mért feszültségéből kiderült, hogy az 55 menetes. A 6. ábra szerinti kapcsolásban az előző kísérletben szereplő zseblámpaéglőt használhatjuk. Az egyik transzformátorral a 3 V-os feszültséget feltranszformáljuk, mintegy 120 V-ra. Az áramerősség 200 mA-ról körülbelül 5 mA-re, a veszteséges teljesítmény 4 W-ról 2,5 mW-ra csökken. (A teljesítmények aránya 1600!) Ilyen veszteségnél a 120 V-ból 2,5 V esik a veszteséges ellenálláson. Ez a 2%-os csökkenés gyakorlatilag észrevétlen marad. A másik transzformátor szekunder tekercsére kapcsolt izzó teljes fényvel világít. A „veszteséges” ellenállás rövidre zárása sem vált ki szemmel látható fényerősség-változást. Az összeállított távvezetékrendszer a 7. ábrán látható. Természetesen a távvezeték megépítéséhez kiválóan alkalmasak az iskolai transzformátorok vagy csengőreduktorok is.

Hány wattos a 100-as égő?

Első hallásra értelmetlennek tűnik a kérdés, hiszen rá van írva a fogyasztóra. A gyártók, forgalmazók nem feltételezik, hogy a vásárló nem az előírt fe-



8. ábra. 40 és 60 W-os izzók soros kapcsolásban

szültségre kapcsolja terméküket, habár a hálózati feszültség nagysága is – az esetek túlnyomó többségében – eltér a 230 V-tól, ami eleve azt eredményezi, hogy a tényleges teljesítmény eltér a névlegestől. Érdekes tapasztalatokat gyűjthetünk, ha a különböző égők nemcsak párhuzamos, hanem soros (8. ábra), illetve vegyes kapcsolását vizsgáljuk. Még érdekesebb, ha különböző feszültségre méretezett izzókat használunk.

Vizsgáljuk meg egy 40 W-os, 230 V-ra méretezett izzó meg egy 3,5 V, 0,2 A feliratú zseblámpaizzó soros kapcsolásának lehetőségét (9. ábra). Végezzük el a számításokat. A 40 W-os égő ellenállása:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow R = \frac{U^2}{P} = 1322,5 \Omega.$$

A rajta átfolyó áramerősség:

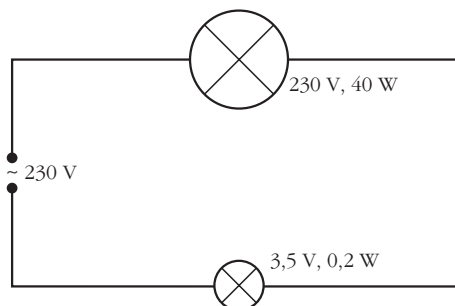
$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 0,17 < 0,2 \text{ A.}$$

Ugyanakkor, a 40 W-os égő hideg ellenállása $R = 97 \Omega$. Bekapcsoláskor az áramerősség:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{97} = 2,37 \text{ A!}$$

Ez több mint tízszerese a megengedettnek! A kapcsolás (9. ábra) mégis működik a törpeégő károsodása nélkül. A várttal ellentétben, a 40 W-os égő izzik fel előbb, ezzel megvédve a kistermetű rokonát a kiégéstől (10. ábra). A kísérlet paradoxon jellege abból fakad, hogy a kisebbet önkéntelenül „gyengébbnek” képzeljük. Pedig az eddig elvégzett kísérletek is iga-

9. ábra. Fog működni?



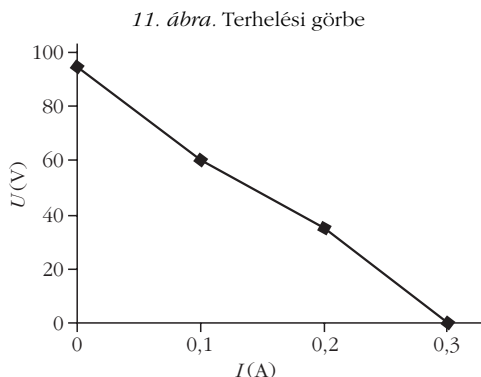


10. ábra. Működik!

zolják, hogy a magasabb üzemi hőmérsékletű izzószál melegszik fel előbb. A 40 W-os teljesítménnyel üzemelő hálózati izzó hőmérséklete körülbelül 3000 °C, a zseblámpaégőé 1400 °C körüli. Ezért a 40 W-os égőnél alakul ki előbb a felvett elektromos és a leadott sugárzási teljesítmény egyensúlya. A folyamat a közegellenállási erő fékező hatására hasonlít, azzal a különbséggel, hogy a kisugárzott energia nem négyzetesen, hanem a hőmérséklet negyedik hatványával arányos (Stefan–Boltzmann-törvény).

Néhány kísérlet transzformátorral

Az $N_1 = 1600$, $N_2 = 400$ menetes transzformátor primer (nagyobb menetszámú) tekercsét kapcsoljuk 25 V-ra, a másikat kössük egy 3,5 V-os, 0,3 A-es zseblámpaizzóhoz. A terheletlen transzformátor szekunder tekercsén 6 V körüli feszültséget mérünk. Égővel terhelve, annak optimális izzását figyelhetjük meg. Most cseréljük fel a két tekercset. A 400 menetre jut



25 V, az 1600-ra közel 100 V. Ha rákapcsoljuk erre a tekercsre a zseblámpaizzókat, az – meglepetésünkre – nem megy tönkre, hanem az előző kapcsolásban tapasztaltakhoz hasonlóan világít. A magyarázat a nagy „belső” ellenállásban keresendő. A terhelési görbéből (11. ábra) jól látható, hogy a maximális áramerősség még rövidzár esetén sem haladja meg a 0,31 ampert. Az üresjárási feszültség nagyságának ismeretében:

$$I_{\max} = \frac{U_0}{R_b} \Rightarrow R_b = \frac{U_0}{I_{\max}} = 306 \, \Omega.$$

A fogyasztó ellenállása:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{3,5}{0,3} = 11,7 \, \Omega \ll R_b,$$

A maximálisan leadható teljesítményt az illesztés felteléből kaphatjuk meg. Ilyenkor

$$R = R_b = 306 \, \Omega, \quad P = P_{\max}, \quad P_m = \frac{U_0^2}{4R_b} \approx 7,4 \, \text{W}.$$

A fogyasztó teljesítménye:

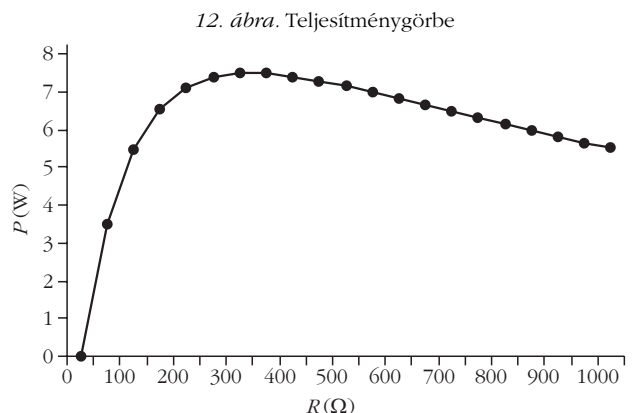
$$P = UI = 3,5 \cdot 0,3 \approx 1 \, \text{W} < P_m.$$

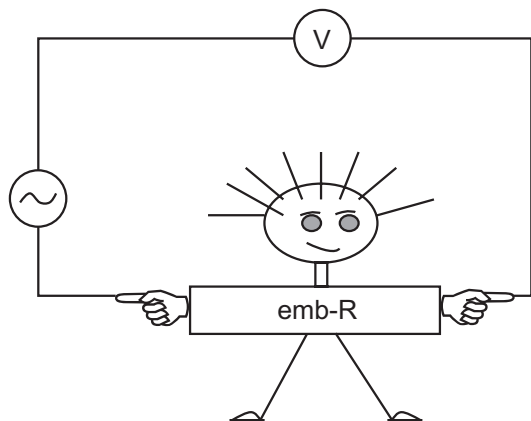
Az izzóval azonos teljesítményt adna le a generátor, ha

$$R_2 = \frac{R_b^2}{R_1} = 8 \, \text{k}\Omega$$

ellenállással terhelnénk. Ha rendelkezésünkre állna ekkora ellenállású izzólámpa, az a zseblámpaizzóval azonos teljesítménnyel, ugyanúgy világítana. Viszont, a két esetben lényeges különbség lenne a hatásfokban: $\eta_1 = 4\%$; $\eta_2 = 96\%$.

A teljesítménygörbe (12. ábra) 0 és 6 W közötti szakasza közel lineárisnak tekinthető. Ezért, ha 14,5 V-os sorba kötött égőket kapcsolunk a szekunder tekercsre, gyakorlatilag azonos fényerővel világítanak az égők n számától függetlenül ($n = 1, 2, 3, 4$ vagy 5). Az áramerősség alig függ a terheléstől. Adott kapcsolás lehetővé teszi a transzformátor áramgenerátor üzemmódban történő működését.





13. ábra. Mennyire vagyunk jó vezetők?

Lehet még belőlünk is jó vezetők?

Scienta est potentia, azaz a tudás hatalom. Ez az iskolánk és egyben az utolsó kísérlet jelmondata. Bonyos tudás birtokában biztonságosan el tudunk végezni veszélyesnek tűnő kísérleteket is. A hálózati feszültség fázisvezetékének felismeréséhez fázisceruza-t használunk, amiben hagyományosan $1\text{ M}\Omega$ ellenállással sorba kapcsolt kis glimmlámpa található. Használatakor az emberen mikroamper nagyságú áramok folynak. Fázisceruza helyett a fázisvezetékre kössük rá a megfelelő méréshatárra beállított, nagy belső ellenállású voltmérő egyik kivezetését. A másikat nyugodtan megfoghatjuk, sőt most akár egy zárt áramkört is létrehozhatunk úgy, hogy a szabad kezünkkel megérintjük a nullás vezetékét (13. ábra). Átfolyik rajtunk az áram, miközben a nagy belső ellenállású voltmérő a hálózati feszültséghez közeli értéket mutat. A felületes megfigyelő számára úgy tűnik, mintha bennünket illetve meg a műszer által mutatott érték. Az általam használt digitális voltmérő belső ellenállása a fázisceruza ellenállásának közel tízszerese volt. Ahogy a bemutató során már többször is előfordult, így most is egy előtét-ellenállás alkalmazásáról van szó, aminek köszönhetően annyira kicsi áram folyik a körben, hogy azt akár a nyelvünkön is átengedhetjük (14. ábra), semmit sem fogunk belőle érezni. A hálózati és a rajtunk eső feszültség ismeretében feszültségosztásból kiszámíthatjuk saját ellenállásunkat. Összevethetjük a kapott ered-



14. ábra. Nyelvünkkel zárjuk az áramkört...

ményt az ohmmérővel lemert értékkel. Megállapíthatjuk, hogy mennyire vagyunk jó vagy rossz vezetők.



Az 52. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét és Eszközbemutatón műhelyfoglalkozás keretében az elektromos ellenállás fogalmával kapcsolatos, könnyen megismételhető, egyszerűen elvégezhető kísérleteket bemutatására vállalkoztam.

Az ohmos ellenállás vizsgálatára legalkalmasabbak a különböző feszültségre, teljesítményre méretezett izzólámpák. Segítségükkel mérőműszerek alkalmazása nélkül is jól követhetők a különböző kapcsolások okozta változások.

Szinte mindegyik kísérletben található egy-két előtét-ellenállás, ami lehetőséget kínál az áramgenerátorokban rejlő lehetőségek megismeréséhez.

Végül, megfelelő feltételeket biztosításával, érdekes tapasztalatokra tehetünk szert saját ellenállásunk vizsgálatára terén.



A szerkesztőbizottság fizika tanításáért felelős tagjai kéri mindazokat, akik a fizika vonzóbbá tételére, a tanítás eredményességének fokozása érdekében új módszerekkel, elképzelésekkel próbálkoznak, hogy ezeket osszák meg a Szemle hasábjain az olvasókkal.

