

LÁTHATÓ HANGOK, HALLHATÓ FÉNYEK

Jendrék Miklós
Boronkay György Műszaki
Középiskola és Gimnázium, Vác

Milyen hangja van egy hagyományos vagy kompakt égőnek? Vagy a monitornak, távirányítónak vagy telefonkijelzőnek? Egyszerű, házilag is könnyen elkészíthető optocsatoló-modell segítségével választ kaphatunk ezekre a kérdésekre. Sőt, az ismertetésre kerülő eszközök segítségével további, közel 20 érdekes kísérlet végezhető el.

Az optocsatoló egy közös tokban elhelyezett fénykibocsátó és fényérzékelő eszköz. A fénykibocsátó szerepet leggyakrabban LED tölti be, fényérzékelőként leginkább fototranzisztort használnak. Ilyen módon fényjel által jön létre csatolás a bemenet és a kimenet között. A fénycsatolók 10 MHz-ig alkalmazhatók olyan áramkörü megoldásoknál, ahol két áramkörü részt egymástól galvanikusan szét akarnak választani [1]. A fizikatanítás szempontjából az információ fénynyel történő továbbítása lényegesen több lehetőséget rejt magában, mint amennyit találunk a témával foglalkozó ötletadó irodalomban [2, 3].

Az optocsatoló-modell segítségével elvégezhető kísérletek egy része konkrét tananyaghoz köthető, míg vannak olyanok, amelyeket az érdeklődés felkeltése, a fizika megszerettetése céljából érdemes bemutatni.

Az eszköz leírása

A bemenő és kimenő egységekkel kiegészített kísérleti modell vázlatát a 1. ábrán látható. A berendezés egy adó- és vevőegységből áll. Az adó lehet bármilyen modulálható fényforrás. A vevő alapja egy fényérzékelő detektor (fotodióda, fototranzisztor), amelynek jeleit erősítés után hangszóróval tesszük hallhatóvá.

A vevő

A fényjeleket detektáló eszközként legegyszerűbb esetben napelemet használhatunk, ami kiszerezhető, például

egy kerti lámpából (2. ábra). A napelem kivezetéseit kapcsoljuk egy hangfrekvenciás erősítő bemenetére (aktív hangfal), és kezdhethetünk kísérletezni.

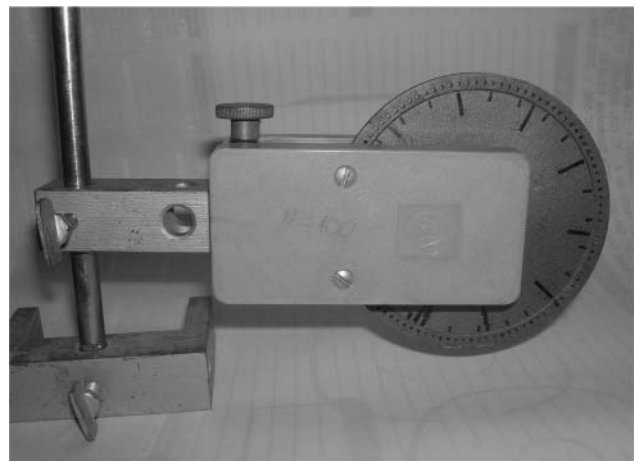
Az eszközzel a következő bevezető kísérletek mutathatók be:

- a fényképzési vaku fénye kattantást idéz elő a hangszóróban;
- villogó üzemmódba kapcsolt kerékpárlámpa metronómmá alakítja a berendezésünket;
- stroboszkóppal nemcsak kattogásokat, hanem folytonos hangot is elő tudunk állítani a villogási frekvenciától függően;
- világítsuk meg a fényérzékelőt lézerrel, izzóval vagy más, folyamatos fénykibocsátást biztosító fényforrással! Szakítsuk meg a fénysugarat kezünkkel, ujjainkkal vagy a fésű fogaival! Érdekes hangeffektusokat kapunk;
- helyezzünk el és mozgassunk egy darab – a fény útjába helyezett – szűnyoghálót! A fénysugarat megszakító nyílások vagy lyukak hangkeltést eredményeznek. Apró lyukú háló esetén jól láthatóvá tehető a fénynyaláb;

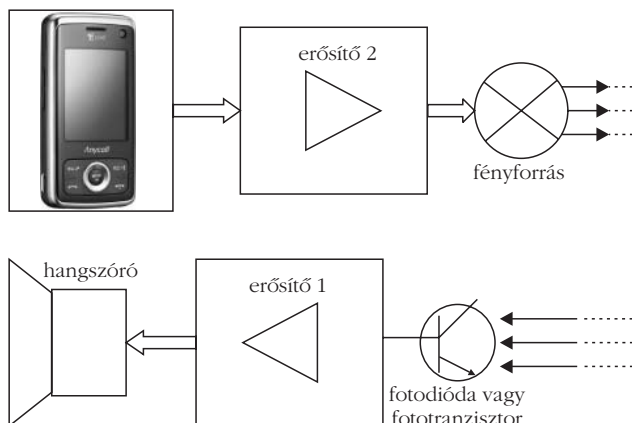
2. ábra. Napelem

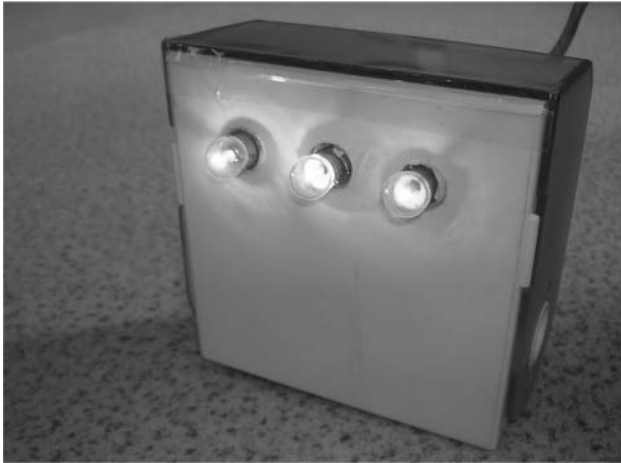


3. ábra. Forgó tárcsa



1. ábra. A kísérleti berendezés vázlatát.





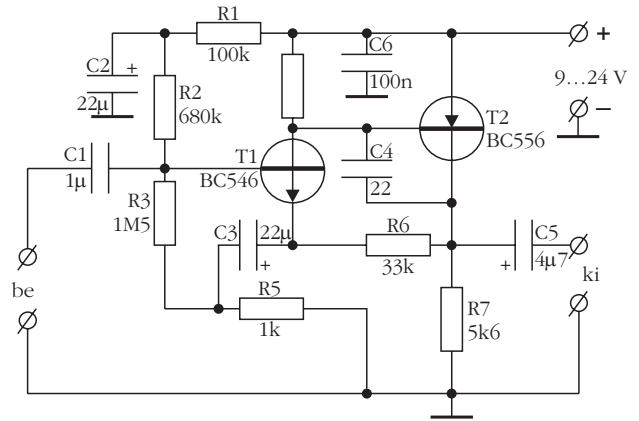
4. ábra. Fekete doboz

- helyezzünk a fény útjába nyílásokkal ellátott tengelyezett forgó korongot! Az előző kísérlethez hasonlóan hang keletkezik. A frekvencia a fordulatszámmal változtatható (3. ábra);

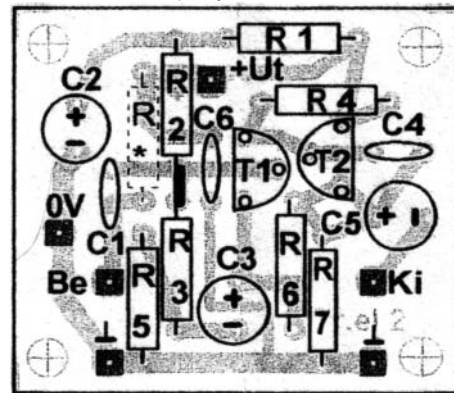
- különböző frekvenciájú árammal táplált izzók fényingadozásait hanggá tudjuk alakítani. Az 4. ábrán látható „fekete doboz” három izzót tartalmaz. Ránézésre nem látunk izzásukban semmi különbséget. Más a helyzet, ha meghallgatjuk őket. Az első hajvágóhoz, a második fűnyíróhoz hasonlít, míg a harmadik valamilyen ufó-tevékenységre „emlékeztet”. Nézzük meg a fényből átalakított elektromos jel alakját oszcilloszkóp segítségével. Kiderül, hogy az első két izzó hálózati feszültségről táplált, azzal a különbséggel, hogy a másodiknál egy sorba kötött dióda miatt, 100 Hz helyett csak 50 Hz-es a fényingadozás frekvenciája. A harmadik egy hanggenerátorhoz, úgynevezett astabil multivibrátorhoz van kötve, amely négyzögjelet állít elő. Ettől van ilyen jellegzetes, felharmonikusokban gazdag hangja.

A felsorolt kísérletek leginkább a hangtannál használhatók, de a fotoeffektus tárgyalásánál színesebbé tehetjük velük a kvantumfizika tanítását is.

Berendezésünk túl egyszerű ahhoz, hogy univerzális legyen, ezért nem lehetnek vele szemben túlzott elv-



R3 felső pontjánál átkötés kell!



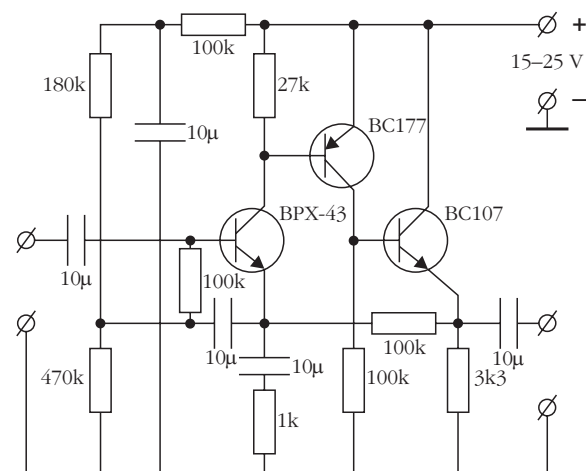
5. ábra. Tranzistoros előerősítő

rásaink. Legnagyobb hiányossága a kis érzékenység, valamint, hogy infravörös-tartományban már nem érzékeli a fényt. (Ez az utóbbi tény viszont kimondottan hasznos is lehet, ha a fotoeffektus szemléltetése a cél.) Mindkét probléma megoldható egy egyszerű erősítőfokozatba beépített fototranzisztor segítségével.

De hogyan tegyünk szert ilyen eszközre? Különböző kapcsolásokkal próbálkoztam, és a legegyszerűbb recept a következő: látogassunk el egy hobbyelektronika szaküzletbe, és kérjünk (pár száz forintért) egy „szereld magad” kiszerelésű tranzistoros előerősítőt (5. ábra). Egy forrasztópáka, néhány alapvető kéziszerszám és a beültetési rajz alapján egy (lyukas) óra alatt kényelmesen elkészíthetjük a kísérletek főszereplőjét: a vevőkészüléket. A helyesen összeállított kapcsolás nem igényel utólagos beállítást vagy hangolást. Célszerű 9 voltos teleppel biztosítani a tápot, a bemenetre kössünk egy fotodiódát vagy tranzisztort, a kimenetet kapcsoljuk aktív hangfalra.

Hasonlóan jó eredmény érhető el a 6. ábrán látható mikrofonerősítővel [4]. Az eredeti kapcsoláson annyit változtattam, hogy a T1 tranzisztort egy BPX-43 típusú fototranzisztorra cseréltem. Ilyen tranzisztor található a hagyományos görgős egérben is. Annyi lehet csak vele a gond, hogy a báziskivezetése le van vágva, erre pedig szükségünk van, toldása nehézséget okozhat. De bármelyik hasonló típusú alkatrész olcsón (100 Ft) beszerezhető elektronikai boltokban. Fontos, hogy ne „kétlábú” fototranzisztort vegyünk.

6. ábra. Az átalakított mikrofonerősítő





7. ábra. A legegyszerűbb fény-adó

Mivel az említett fototranzisztor nemcsak a látható, hanem a közeli infravörös (1100 nm-ig terjedő) tartományt is érzékeli [5], ezért kiválóan alkalmas az olyan IV-sugarakat kibocsátó eszközök vizsgálatára, mint például a távirányító.

- Ha a tv, videó vagy egyéb eszköz távirányítóját a fényérzékelő irányába helyezzük és megnyomjuk valamelyik gombját – a kettős modulációnak köszönhetően – egy alaphangot és egy jellegzetes szaggatott hangot fogunk hallani. A távirányító hangja eltér egymástól, ami több példány esetén akár egy zenekar létrehozását is lehetővé teszi [8].

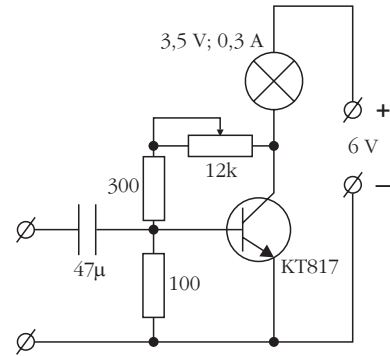
- A fototranzisztoros fénydetektor elég érzékeny ahhoz, hogy a környezetünkben található körszerű fénykibocsátó eszközök közül nemcsak monitor, tv-képernyő, kerékpárlámpa vagy projektor, hanem mobiltelefon, illetve kamera kijelzőjének „hangját” is meghallgathassuk.

Hangból fényt

A további kísérleteinkhez vegyünk egy elektronikus „hangkibocsátó eszközt” (rádiókészüléket), és kapcsoljunk a kimenetére a hangszóró helyett egy zseblámpaizzót (7. ábra). Fontos, hogy a kimeneti teljesítmény elérje az 1-2 wattot. Sajnos ezen elvárásoknak többnyire csak a régebbi rádiókészülékek felelnek meg. Ugyanakkor ezek átalakításának kilátásba helyezése, illetve engedélyezése feltételezhetően nem okoz a családon belül komolyabb konfliktusokat. Mire jó az összeállítás?

- A megfelelő hangerő hatására az izzó fénye villogni kezd az amplitúdó és a frekvencia függvényében (amplitúdómoduláció). Láthatóvá tettük a hangot, ráadásul kezünkben van a „zenehallgatás”, bár nem a legélvezetesebb, de mindenképp a legbékésebb, környezetbarát módja.

- A modulált fényjelet visszaalakíthatjuk hanggá. Ezért közelítsük a fényforrást a vevő fényérzékelőjéhez! Megszólal a hangszóró, habár a hang minősége nem a legjobb. Ennek két fő oka van. Az egyik az, hogy az izzószálnak nagy a hőtehetetlensége, nem



8. ábra. Az adó

képes követni az áram ingadozásait. Ez leginkább a magasabb frekvenciákat érinti, a mély hangokat erőteljesen kiemeli. A másik ok a karakterisztika nemlineáris voltára vezethető vissza.

Univerzális adó

Ha nemcsak az aktuálisan sugárzott adást szeretnénk továbbítani fény segítségével, hanem bármilyen lejátszó kimeneti jelét kívánjuk fényvé alakítani, érdemes egy egyszerű, egytranzisztoros hangfrekvenciás végfokot építeni. Ennek több előnye is van: drága lejátszónkat nem tesszük ki az esetleges túlterhelés okozta károsodás kockázatának, másrészt az izzón kívül másfajta fényforrásokat is ráköthetünk, például lézert, LED-et, infra LED-et (8. ábra).

Az erősítőfokozat gyakorlati kivitelezése rendkívül egyszerű: a meglévő tápegységtől (feszültség nagyságtól) és a tranzisztor típusától függően kell az ellenállásértékeket megválasztani úgy, hogy az izzó (vagy más fényforrás) megfelelő fényel világítson. Az erősítőt több változatban is elkészítettem. A legkényelmesebb megoldás az, ha egy régebbi, használaton kívüli mobiltelefon töltőjét használjuk fel tápegységként.

Végezzük el a következő kísérleteket:

- Fénykibocsátó dióda alkalmazása (9. ábra) izzó helyett sokkal jobb hangminőséget eredményez. Itt a fényingadozások szemmel nem láthatóak, de a fényje-

9. ábra. LED-es lámpa





10. ábra. Infra LED

lek torzításmentesen viszonylag nagy távolságra közvetítik a hangot. Ráadásul – a nagy fényerő miatt – használhatjuk a napelemes vevőt is.

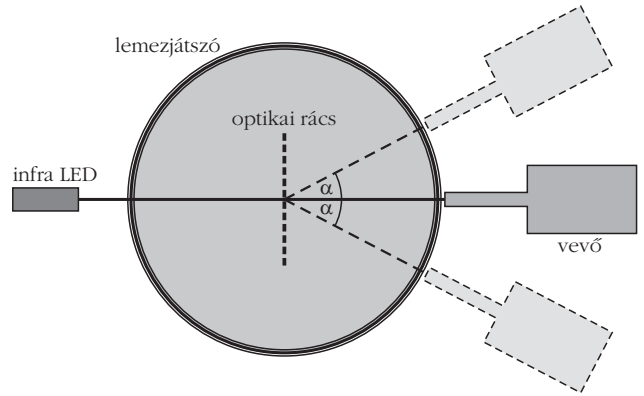
- Ha lézerpontert vagy más félvezető lézert használunk lámpa helyett, a hatótávolság – a sugarak kis széttartása miatt – lényegesen megnövelhető, viszont nagy távolságról nehéz pontosan eltalálni az érzékelőt és a zajszint is jelentősen emelkedik. Ugyanakkor, ha túl közel helyezzük a lézert a vevőhöz, a nagy intenzitás miatt torzul el a hang.

- Kedvencem az infra LED, amit egy használaton kívüli távirányítóból szereltem ki (10. ábra). A jel jó minőségű, elég nagy távolságra terjed. Ha már olyan messze vagyunk a forrástól, hogy egyáltalán nem, vagy csak alig hallható a hang, egy lencsével az érzékelőre fókuszálva a láthatatlan sugarakat, a hang jelentős felerősödését tapasztaljuk. Gyűjtőlencse lehet hagyományos domború vagy Fresnel-lencse.

- Egy fényes fémlamezzel bemutatható az infrasarkanok tükrös visszaverődése. Enyhén meghajlított lemezzel fókuszálhatók a sugarak. A lemez ütemes mozgatásával a jel kézi modulálása érhető el.

- Optikai kábellel tetszőleges pályán továbbítható az információt szállító láthatatlan fény.

- Az ismertetett eszközök lehetőséget nyújtanak egy zenehallgatással egybekötött hullámhosszmérésre is. Az eljárás lényege: optikai ráccsal előállított színek (erősítési helyek) kimutatására használjuk a fényérzékelővel ellátott vevőt. A fényforrás (lézer, LED) fényét moduláljuk. A diffrakció ilyen módon törté-



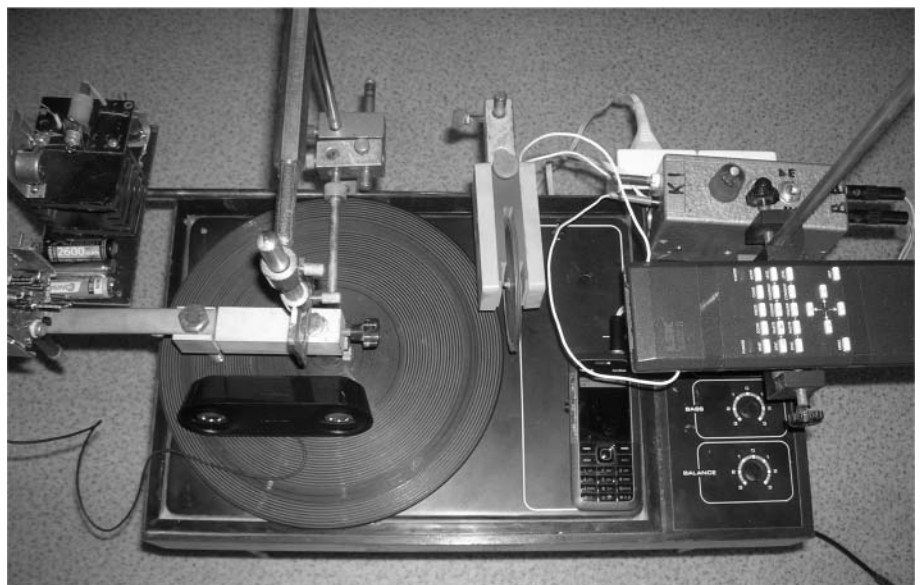
11. ábra. Infrasarkanok hullámhosszának mérése.

nő megfigyelése nem igényel sötétítést, és infra LED esetén is alkalmazható. A méréshez szükséges összeállítás vázlata a 11. ábrán, gyakorlati megvalósítása a 12. ábrán látható.

Az optikai rácsot meg az érzékelőt egy egykori lemezjátszó dobozán, illetve korongján helyeztem el. A korong jó szolgálatot tesz az eltérülési szögek mérésében, a detektor könnyű, akadálytalan mozgásában.

Az infravörös fény viszonylag kis széttartása lehetővé teszi, hogy az elhajlást Fraunhofer-diffrakciónak tekintsük. Az elsőrendű erősítési helyek, azaz az eltérülési szög függ a rácsállandótól és hullámhossztól. A szöget az lemezjátszó korongjával együtt elfordítható érzékelő segítségével mérjük le. Először bejelöljük a korongnak azt a helyzetét, amikor a fényérzékelő szemben van a forrással (nulladik erősítési hely). Lassan elforgatva a korongot, a jel gyengülését, majd újra felerősödését tapasztaljuk. Ismét bejelöljük a korong helyzetét. A szögmérést a korong mindkét irányba történő elforgatásával ellenőrizhetjük. A jól ismert $d \sin \alpha = k \lambda$ összefüggés alapján, ahol d a rácsállandó, $k = 1$ (elsőrendű maximumok), meghatározzuk a hullámhosszt.

12. ábra. A mérőberendezés





13. ábra. A „hangszóró” tekercse

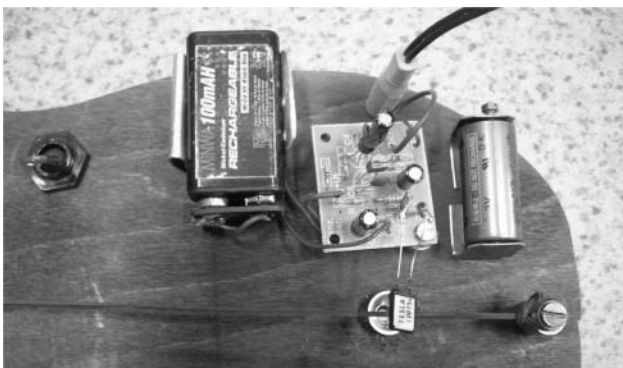
Az általam végzett mérés (becslés) eredményei az alábbi táblázatban találhatók.

rácsállandó (mm)	eltérülési szög α (°)	mért érték (nm)	irodalmi érték (nm)
1/500	27,6	927±40	940

Mint látható, a kapott eredmény jó egyezést mutat az irodalmi értékkel (940 nm). Ráadásul a mérés elvégzéséhez nem szükséges a helyiséget besötétíteni, az elhajlást követő interferenciakép vizsgálata közben ki-kisaját kedvenc zeneszámát hallgathatja. Érdeemes megjegyezni, hogy az ajánlott módszernek van még egy nagy előnye: a nulladik és elsőrendű erősítési helyek „keresése” a gyengénlátók számára is teljesíthető feladat. Ráadásul hallásra jól érzékelhető, hogy a különböző erősítési helyekre jutó fény intenzitása erősen eltérő.

Az adó erősítőkiszárási teljesítménye 1-2 W. Ez már alkalmassá teszi a népszerű teáskanna-hangszórós

15. ábra. Az elektromos gitár



14. ábra. A rezonátor

kísérlet bemutatására. Ehhez az erősítő kimenetére egy tekercset kapcsolunk (13. ábra). Ilyenkor a benne folyó áram mágneses mezőt kelt, amely a kannába helyezett mágnessel kölcsönhatásba lép. A kanna mint rezonátor (14. ábra) felerősíti a gyenge mechanikai rezgéseket. A tekercset egy egykori antenna keretére csévélttem fel. Az eredeti 60 menetet 200-ra cseréltem. Az alkalmazott rézhuzal keresztmetszete 0,4 mm². A legjobb eredményt úgy sikerült elérnem, hogy a mágnest a kannába helyeztem el.

- Ha az antennatekercs közelében egy másik tekercset helyezünk el, amelyet a vevő bemenetére kötünk, újra megszólal a hangszóró, csak most nem a fény, hanem az alacsonyfrekvenciás elektromágneses mező továbbítja a jeleket.

- Optocsatoló kiválóan alkalmas elektromos hangszerek működtetésére. Olyan gitárt készítettem (15. ábra), amelynek ugyan csak egy húrja van, de rezgési fény segítségével alakíthatók át elektromos jelekké. Igazi húr helyett gumiszínórt használtam, mivel ez sokkal nagyobb amplitúdóval rezeg, mint a fémhúr.

Összegzés

A fizika népszerűsítését, jobb megértését szolgáló kísérletek elvégzésére nem feltétlenül szükségesek drága, bonyolult műszerek. Környezetünkben (fizikaszertárban) fellelhető egyszerű, hagyományos eszközök is lehetővé teszik egy sor – különböző témakörhöz tartozó – érdekes jelenség bemutatását. Az ismertett eszközök nemcsak demonstrációs, hanem tanulói kísérletek elvégzésére is kiválóan alkalmasak.

A leírt kísérletekről készült néhány videó az Interneten is megtekinthető [6–8].

Irodalom

1. <http://hu.metapedia.org/wiki/Optocsatol%C3%B3>
2. Fénytelefon. *Ezermester* (1970/9) 6–7.
3. Kóbor Macskák kísérletei. *Fizikai Szemle* (1993) 236–238.
4. <http://erosito.club.hu/>
5. http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/90/124847_DS.pdf
6. <http://www.youtube.com/watch?v=nCKJX-37wdw>
7. <http://www.youtube.com/watch?v=v7LbcyJTo9U>
8. <http://www.youtube.com/watch?v=2cNuCyL2j98>