

FÉNYT KIBOCSÁTÓ DIÓDÁK ALKALMAZÁSA A KÖZÉPISKOLAI FIZIKAOKTATÁSBAN

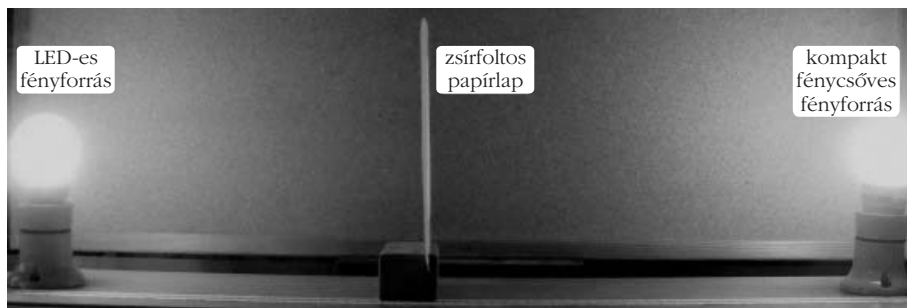
Teiermayer Attila
Karolina Gimnázium, Szeged

A fényt kibocsátó dióda (Light Emitting Diode = LED) működésének fizikája nem része a középiskolai törzsanyagnak, legfeljebb fakultációs órákon vagy szakkörön tárgyalható. A LED-ek mint sajátos fényforrások azonban jól felhasználhatók a fizikatanítás számos területén. Alkalmazásuk több szempontból is

Ezen írásom az ELTE Fizika Doktori Iskola Fizika Tanítása programban folytatott munkám keretében készült. Szeretném megköszönni témavezetőm, *Juhász András* cikkíráshoz nyújtott segítségét, számos ötleteit és tanácsait.

előnyös: egyrészt könnyen és olcsón beszerezhető, használatuk nem igényel speciális felszerelést, és lehetőséget nyújtanak arra is, hogy érdeklődőbb, tehetségesebb diákjaink otthon is kísérletezzenek velük; másrészt az elvégzett kísérletekhez, mérésekhez számítási feladatokat is kapcsolhatunk. A kísérletek magyarázatot, értelmezést kívánnak, ezek során sokat taníthatunk meg diákjainknak a félvezető-fizika speciális területeiről is.

Írásomban a LED-ek néhány iskolai alkalmazását szeretném bemutatni a teljesség igénye nélkül.



1. ábra. A házilag is elkészíthető zsírfoltos fotométer.

A LED-lámpa mint energiatakarékos fényforrás

Egyetlen LED fényereje csekély, ha azonban egy foglalatban sok LED helyezkedik el, az együttes fényerő összemérhető a hagyományos lámpákéval, miközben elektromos energiaigénye sokkal kisebb azokénál. A kereskedelemben bő választékban kaphatók ilyen há-
lózati feszültségre készült LED-es fényforrások. A LED működtetésére néhány volt egyenfeszültség szükséges. A sok LED-ből álló lámpák foglalatába beépített elektronika biztosítja, hogy a diódák a 230 V-os hálózati feszültségről táplálva is működtethetők legyenek.

A 2010. májusi emelt szintű érettségi vizsga szóbeli tételsorának egyik mérési feladata az volt, hogy a vizsgáló hasonlítsa össze egy hagyományos izzó és egy geometriailag teljesen hasonló felépítésű kompakt fénycsöves fényforrás relatív fénytjeljesítményét zsírfoltos fotométer segítségével. Relatív fénytjeljesítményen a kítűzött feladat a fényforrás fénytjeljesítménye és a felvett elektromos teljesítmény hányadosát, tehát a fényhasznosítást értette. Ez a feladat továbbfejleszhető úgy, hogy a másik széles körben elterjedt modern fényforrással, a LED-es fényforrással történjen az összehasonlítás, vagy a két új típusú fényforrás relatív fénytjeljesítménye kerüljön összevetésre.

Ehhez a mérési feladathoz rövid, de tanulságos számítási feladatokat kapcsolhatunk. E témakör fel-
dolgozása történhet szakköri keretek között, tanórán csoportmunkában, vagy frontális foglalkozásban.

A *Bunsen* által kifejlesztett zsírfoltos fotométer egyszerűen használható a mérés elvégzéséhez. Ha a zsírfoltot csak egy irányból világítjuk meg, a fényforrás felőli oldalon a folt sötétebb, a szemközti oldalon pedig világosabb, mert a zsírfolt fényáteresztő képessége nagyobb, mint az őt tartalmazó papíré. Ha az 1. ábrán látható módon mindkét oldalról megvilágítjuk a fényfoltot, és megtaláljuk a papírlap azon helyzetét, ahol a folt mindkét oldalon azonos fényességű, akkor a folt megvilágítotttsága megegyezik [1].

Szakirodalmakból [2] megtudhatjuk, hogy a folton a fényforrás fénytjeljesítménye egyenesen arányos a folt és a fényforrás távolságának négyzetével, így

$$\frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2,$$

illetve azt, hogy a fényhasznosítások aránya az

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \frac{P_2}{P_1}$$

összefüggéssel számolható ki, ahol Φ a fényforrás fénytjeljesítményét, η a fényhasznosítást, r a folt és fényforrás távolságát, P a fényforrás elektromos teljesítményét jelenti.

Méréseimhez egy 60 W-os hagyományos izzót, egy ME-

GAMAN Party Color típusú kompakt fénycsövet (gömb alakú búra, átmérő: 6 cm, teljesítmény: 6 W, élettartam 10 000 óra), és egy FORlight típusú, 60 LED-et tartalmazó fényforrást (gömb alakú búra, átmérő: 5,7 cm, teljesítmény: 3 W, élettartam 50 000 óra) használtam. A fényforrások kiválasztásánál figyeltem arra is, hogy mindegyik fénye „meleg” legyen.

Első feladatként adhatjuk diákjainknak, hogy méréssel hasonlítsák össze a hagyományos fényforrás és a két modern fényforrás fénytjeljesítményét, fényhasznosítását, és ezen adatokból jósolják meg a két modern fényforrás fényhasznosításának arányát, majd méréssel ellenőrizzék a számítás eredményét.

Először tehát összehasonlíthatjuk a hagyományos izzót a kompakt fénycsövevel és a LED-es fényforrással. A méréseket a fent leírtak alapján elvégezve kapjuk, hogy

$$\frac{\Phi_{izzó}}{\Phi_{komp}} = 4,92 \quad \text{és} \quad \frac{\eta_{izzó}}{\eta_{komp}} = 0,49,$$

valamint

$$\frac{\Phi_{izzó}}{\Phi_{LED}} = 6,37 \quad \text{és} \quad \frac{\eta_{izzó}}{\eta_{LED}} = 0,32.$$

A méréseket elvégezve jóslatként

$$\frac{\eta_{komp}}{\eta_{LED}} = \frac{0,32}{0,49} = 0,65$$

értéket kapunk. Ha ezután a két modern fényforrással a mérést elvégezzük, ez a hányados 0,71-nek adódik. Ha a mért és a számolt eredmény viszonylag közel esik egymáshoz, az eredménnyel elégedettek lehetünk, hiszen a foltok világosságának vagy sötétségének megítélése szubjektív, ezért itt a relatív fénytjeljesítmények arányának becsléséről lehet csupán szó.

A most következő feladatok elméleti jellegűek, de az energiatakarékosra nevelés szempontjából fontosak lehetnek.

1. *A fénytjeljesítményeket összehasonlítva hány kompakt fénycsöves, illetve LED-es fényforrás helyettesít egy 60 W-os izzót?*

A fénytjeljesítmények arányait megfigyelve elmondhatjuk, hogy egy 60 W-os izzót esetünkben körülbelül 5 kompakt fénycsöves és körülbelül 6 LED-es fényforrás helyettesít. (A napi gyakorlatban egy 11 W-os

kompakt fénycső helyettesítheti a 60 W-os izzót, egy 14 W-os már felül is mülja – csakhogy ezek nem gömb alakúak, ami nehezíti a fotométeres összehasonlítást.)

2. *Miért választják az emberek a hagyományos izzót a modern fényforrásokkal szemben?*

Egyrészt azért választják az emberek a hagyományos izzókat, mert kevesebbre van belőlük szükség ugyanakkora fényerősség eléréséhez, másrészt egy izzó ára 80–100 Ft, egy kompakt fénycsövesé 2000 Ft, egy LED-es fényforrásé 3–4000 Ft.

3. *Egy hagyományos izzó átlagos élettartama 1000 óra, az általunk használt kompakt fénycsöves fényforrásé 10 000 óra, a LED-es fényforrásé 50 000 óra. Az izzó ára 90 Ft, a kompakt fénycsöves fényforrásé 1900 Ft, a LED-es fényforrásé 3800 Ft volt. Ha egy szobát a 60 W-os izzó fényerejével szeretnénk megvilágítani napi 8 órán keresztül, hosszú távon gondolkodva melyik fényforrás alkalmazását javasoljátok? (1 kWh villamos energia árát számoljuk átlagosan 50 Ft-nak!)*

Az előző mérési eredmények után a számítást elvégezve a LED-es fényforrással 50 000 óra alatt körülbelül 49 000 Ft-ot fizetünk az áramért, a kompakt fénycsöves fényforrással körülbelül 85 000 Ft-ot, (a 14 W-os kompakt fénycsőnél körülbelül 40 000 Ft-ot) a hagyományos izzóval pedig 154 000 Ft-ot. (50 darab hagyományos izzó ára 4500 Ft, 5 kompakt fénycsőé 9500 Ft, míg a LED-es fényforrásé 3800 Ft, ez a különbség az áramfogyasztáshoz képest elhanyagolható.)

A számok alapján egyértelműen a LED-es fényforrás mellett érdemes döntenünk. Ugyanakkor az is az igazsághoz tartozik, hogy napi 8 óra üzemidővel számolva az 50 000 óra körülbelül 20 év, és az emberek világítás szempontjából ekkora távlatban nem szoktak tervezni, kiindulva abból, hogy 20 évvel ezelőtt a mai újításokra nem számíhattak volna.

Ezek a feladatok segíthetnek minket abban, hogy diákjainkat a meglévő energiával való takarékoskodásra neveljük, élményt jelenthet eközben az, hogy egy általunk elvégzett órai mérés szolgáltatja a számítási feladat alapját.

Házi készítésű LED-stroboszkóp

Mint minden diódán, a LED-en is csak egy irányban haladhat át az áram. Ez teszi lehetővé, hogy könnyen, egyszerűen készítsünk belőle stroboszkópot. Változó feszültségre kapcsolva a LED csak félférfidusonként világít. 50 Hz-es frekvencián ez nem érzékelhető, ha azonban a frekvenciát csökkentjük, a jelenség jól megfigyelhető.

Az 2. ábrán látható stroboszkópot egy LED-es zseblámpából készítettük. A zseblámpa 20 kis fényerejű LED-ből áll, és eredetileg 4,5 V egyenfeszültségről működtethető. Kis átalakítással azonban elérhető, hogy hanggenerátorra csatlakoztathassuk. A lámpában a LED-es hálózat egyik kivezetése maga a fémtest, a másik pedig a csőben közvetlenül a LED-ek alatt található kis rugó.

A cső falát szakkörös diákjainkkal két helyen átfúrunk, egy vezetékkel a cső belső falára forrasztottunk, egy másikat pedig egy szigetelőszalaggal bevont kromilcsipesz segítségével a rugóhoz rögzítettük. A vezetékeket banánhüvelyen keresztül köthetjük a hanggenerátorra. Figyelnünk kell arra, hogy a váltófeszültség alkalmazásakor a hanggenerátor által kiadott effektív feszültség nem lehet nagyobb, mint

$$\frac{4,5 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 3,2 \text{ V},$$

hiszen a LED-es hálózaton eső csúcsheszültség legfeljebb 4,5 V lehet! A lámpa által felvett teljesítmény a mérések szerint 400 mW körül van.

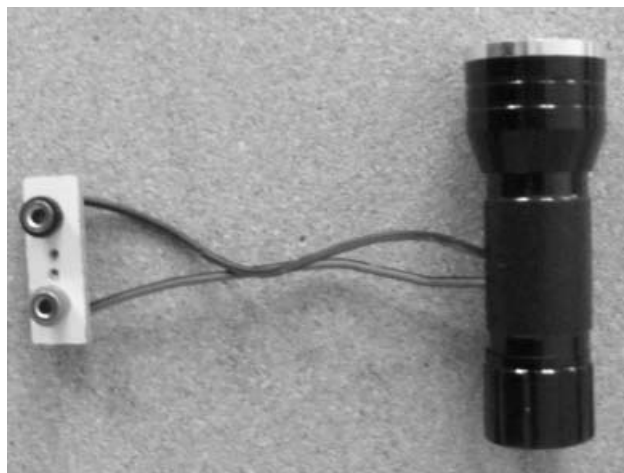
A hanggenerátorról működtetett diódák villogó megvilágításában a folyamatos mozgások szakaszosnak tűnnek, a stroboszkóphatás jól megfigyelhető. Ha a mozgó test fényvisszaverő-képessége jó, például fehérre van festve, a helyiséget elsötétítve és a mozgó test mögé sötét hátteret helyezve, egyszerű stroboszkópunk megvilágítása mellett „stroboképeket” fotózhatunk.

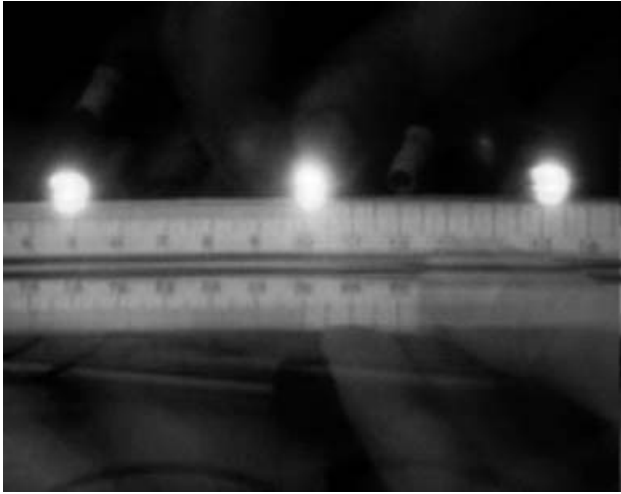
Fényhullámhossz-mérés optikai rácscsal

A különböző színű fény hullámhosszának mérése fontos optikai kísérlet. Egyetemi laboratóriumokban drága spektroszkópokkal speciális töltésű gázkisülési csövek fényét vizsgálják. Középszolai szinten jól megfelel a különböző színű LED-ek fényének vizsgálata egyszerű optikai rácson keresztül. A hullámhosszmérést szubjektív észleléssel vagy egyszerű digitális kamerával (például mobiltelefon kamerája) készített fotó segítségével végezhetjük el.

Színés LED mellé helyezzünk cm-skálát (fehér papír-mérőszalagot vagy vonalzót)! A LED-et igazítsuk például a 10 cm-es osztásvonalához! Távolodjunk el a LED-től előzőleg kimért 1-2 méter távolságra, majd nézzünk a világitó LED-re úgy, hogy közvetlenül egyik szemünk elé optikai rácscsal tartunk! Ha a rácscsal

2. ábra. Saját készítésű stroboszkóp.





3. ábra. A szubjektív észlelésről készült fotó.

osztásvonalai függőlegesen állnak, a 3. ábrához hasonló képet látunk. Középen, a skála kiválasztott vonalánál a világító LED, jobbra és balra szimmetrikusan a két elsőrendű elhajlási maximum található. Ez a mérés szubjektív észlelésen alapuló módja.

Ha mindkét szemünkkel egyszerre nézünk, a természetes látványt és a rácson keresztül látott képet agyunk egymásra vetíti. Így jól meg tudjuk állapítani, hogy a diódától jobbra és balra eső elhajlási maximumok a centiméterskálán hová esnek. A rács és a LED távolságát (L), az elhajlási maximumok skálán mért távolságát (x) és az optikai rács rácsállandóját (d) ismerve a fény hullámhossza meghatározható (4. ábra).

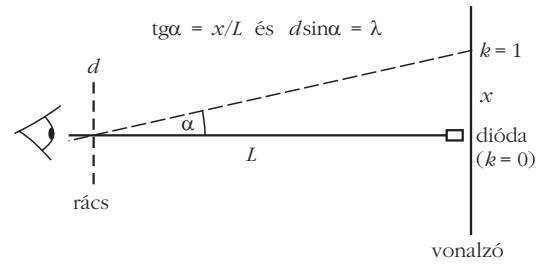
A szubjektív látványt rögzíthetjük digitális fényképezőgéppel (például mobiltelefon kamerájával). A fényképezőgépet szembe állítjuk a centiméterskála fölött lévő diórával, közvetlenül az objektív elé tartjuk az ismert rácsállandójú optikai rácsot, és exponálunk. Ezután lemérjük és feljegyezzük a LED és az optikai rács (illetve a gép lencséje) közti távolságot. A kamera a szemünkhöz hasonlóan alkot képet a látványról. A rögzített digitális kép azonban a rácsállandó értékével, valamint a kamera és tárgy helyszínen lemert távolságával kiegészítve a mérés maradandó dokumentuma. A fotót a kísérlettől függetlenül utólag bárhol, bármikor megnézhetjük és kiértékelhetjük.

Az 3. ábrán látható kép készítésekor a mobiltelefon lencséje $L = 29,5$ cm távol volt a diórától, az optikai rács 300 vonalat tartalmazott milliméterenként (rácsállandó $d = 1/300$ mm). A képen a skála csekély elmosódottsága ellenére jól megbecsülhető a két oldalsó elhajlási maximum távolsága, ennek fele a számításhoz szükséges x érték, ez alapján $x \approx 5,3$ cm.

Az így ismert adatokkal és a fenti összefüggésekkel számolva a LED sárga fényének hullámhossza kerekítve

$$\lambda = 590 \text{ nm.}$$

A tapasztalatok szerint az elhajlási kép leírt fotózása után a legkülönbözőbb színű LED-ek hullámhosszát a diákok otthoni munkában is meg tudják határozni. A fotó kiértékelése feleltetéshez is kapcsolható és dolgozatban is feladható.



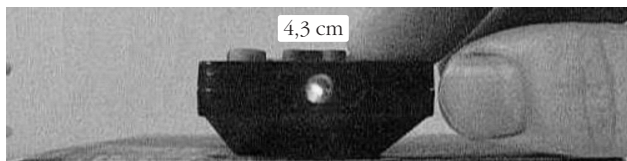
4. ábra. A mérés elméleti háttere.

Mint minden fizikai mérésnél, az előbb leírt hullámhosszmérésnél is meg kell adnunk a mérés pontosságát. A LED és a rács távolságánál a leolvasási pontosság 0,5 cm-nek vehető, a képről a folt leolvasását 2-3 mm-es hibával tehetjük meg. Ebből 10%-os nagyságrendű hiba származhat. Ugyanakkor ennél a mérésnél nem is a pontos számérték a fontos, hanem az, hogy egy igen kicsiny mennyiséget a legtöbb középiskolában fellelhető egyszerű eszközök segítségével viszonylag nagy pontossággal meg tudunk határozni. Különösen igaz ez a következő részben említett infravörös fényre.

Láthatatlan (infravörös) fény hullámhosszának mérése

Az elektromágneses spektrum infravörös tartományát szemünk nem érzékeli. Egyszerűen bemutatható ez például a tv-készülék távvezérlőjével. Az eszköz előlapján infravörösben sugárzó LED található. Szabad szemmel nem látjuk, hogy a LED a távirányító gombjainak lenyomásakor fényt bocsátana ki. A digitális fényképezőgép azonban ezt a fényt is „látja”. A kamera chipje érzékeli az infravörös sugárzást és meg is jeleníti a folyadékkristályos képernyőjén. Ha a távirányító gombjait lenyomjuk, a képernyőn úgy látjuk, hogy a LED világít. A digitális kamerák e tulajdonságát felhasználhatjuk arra, hogy optikai rács segítségével megmérjük a szemünk számára láthatatlan fény hullámhosszát.

Az eljárás hasonló, mint a színes LED hullámhosszának kamerával való mérésénél. A különbség abban van, hogy most az elhajlási maximumok kis intenzitása miatt sötétben kell fényképet készíteni, így a képre nem fotózhatunk skálát. A probléma kettes fotózással oldható meg. Készítsünk fényképet először világosban, ekkor például a távirányító szélessége lehet a viszonyítási alap (természetesen ekkor a helyszínen le kell mérni és fel kell jegyezni az eszköz valódi szélességét). A fotózást ezután a távirányító működése közben, az optikai rácsot közvetlenül a kamera lencséje elé tartva meg kell ismételtetni. Ügyeljünk arra, hogy a kamera és a infra-LED távolságát le kell mérnünk, és ez a távolság a két fénykép készítése során meg kell egyezzen. Ha a távirányító szélességét mérjük le, akkor a rácsot úgy helyezzük a kamera elé, hogy az elhajlás függőlegesen történjen, hiszen ilyenkor a vízszintes méretek nem torzulnak.



5. ábra. A távirányítóról készült fénykép.



6. ábra. Az elhajlási kép (az eredeti kép 90°-kal elforgatva).

Az 5. és a 6. ábra így készített két felvételt mutat. Így a távirányító valódi 4,3 cm szélességéből arányosan kiszámolhatjuk a már említett x távolságot. A felvétel készítésekor a lencse és a LED távolsága $L = 25$ cm volt, a rácsállandó pedig $d = 1/300$ mm. Az eredeti fotó alapján $x = 7$ cm, a számítást elvégezve az infravörös fény hullámhosszára 899 nm-t kapunk.

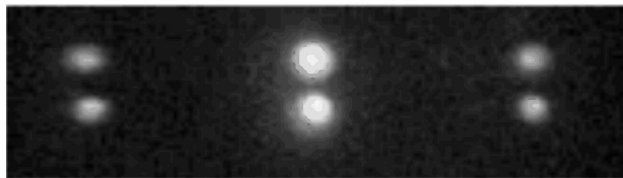
A leírt kettős fotózás feleslegessé válik, ha találunk olyan távirányítót, ami két infravörös LED-del működik (7. ábra). Ilyenkor elegendő egyetlen fotót készíteni az elhajlásról. Arra kell csak figyelni, hogy az optikai rács vonalai párhuzamosak legyenek a két LED által meghatározott egyenessel. Ilyen felvétel látható a 8. ábrán.

A távirányítón vízszintesen egymás mellett helyezkedik el a két LED, a kamera elé tartott optikai rács vonalai ennek megfelelően vízszintesen álltak. Fényelhajlás a rács vonalainak irányára merőlegesen lép fel, ezért a két LED távolságát az elhajlás nem változtatja meg. Az elhajlási maximumok távolságát és a LED-ek távolságát a fotón mérjük. Az elhajlási maximumok valódi távolságát a fotó léptékének ismeretében tudjuk meghatározni. Ehhez a LED-ek fotón mért távolságát és a LED-ek távirányítón lement távolságát használhatjuk fel.

A 8. ábrán az elhajlási kép látható. A valóságban a két LED távolsága 8 mm volt, a felvétel készítésekor a távirányító a kamerától $L = 16$ cm távolságban helyezkedett el, a rácsállandó $d = 1/200$ mm. A mérést és a számítást elvégezve a hullámhosszra 941 nm-t kapunk.



7. ábra. Két LED-del működő távirányító.



8. ábra. Az elhajlási kép (az eredeti kép 90°-kal elforgatva).

Összegzés

A fent leírt kísérletek csak egy szeletét adják a LED-ek középiskolai alkalmazásának. A világító diódák használatán keresztül taníthatunk anyagszerkezeti ismereteket, fizikai optikát, ezen kívül megmérhetjük a Planck-állandót [3], és beszélhetünk diákjainknak az energiatakarékosságról, a jövő (vagy már a jelen) fényforrásairól.

A kísérletek nemcsak színesíthetik a tanórát vagy a szakköri foglalkozást, hanem lehetőség nyílik mérések végzésére, kiértékelésre, és ehhez kapcsolódóan számítási feladatok megoldására.

Diákjaink így nemcsak az órán találkozhatnak a LED-ekkel, hanem otthon is kísérletezhetnek, ezzel látens módon megnövelhetjük a fizika tantárgy heti óraszámát.

Irodalom

1. Budó Ágoston: *Kísérleti Fizika III.* Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1995.
2. Juhász András: *A 2010. évi emelt szintű fizikai érettségi vizsga mérési feladatai.* Öveges József Tanáregylet, Budapest, 2010.
3. Juhász András, Görbe László: *A 2007. évi emelt szintű fizika érettségi új kísérleti feladatai.* Öveges József Tanáregylet, Budapest, 2007.