

A SZABADESÉS KÍSÉRLETI TANÍTÁSA A NAGYVÁRADI ADY ENDRE LÍCEUMBAN

Bartos-Elekes István
Ady Endre Líceum, Nagyvárad

A kísérletek nélküli fizika nem több egy érthetetlen képletgyűjteménynél.

Több évtizedes fizikatanári pályafutásom alatt mindig előnyben részesítettem az órákon végzett fizikai kísérleteket. Egy-egy fejezet mélyebb megértéséhez nélkülözhetetlen a témazáró, az egész osztály részvételével elvégzett laborgyakorlat. A gyakorlat befejezése után a diákok útbaigazítást kapnak a mérési eredmények értelmezéséhez, a referátum elkészítéséhez. A csak kézzel írt dolgozatok nemegyszer 15–20 oldalas tanulmányokká „dagadnak” és a tanár számára igazi élményt jelent átnézésük, javításuk. Ezek az írások sokszorosan jobbák és egyedibbek, mint az osztályban írt témazáró ellenőrző dolgozatok nagy része.

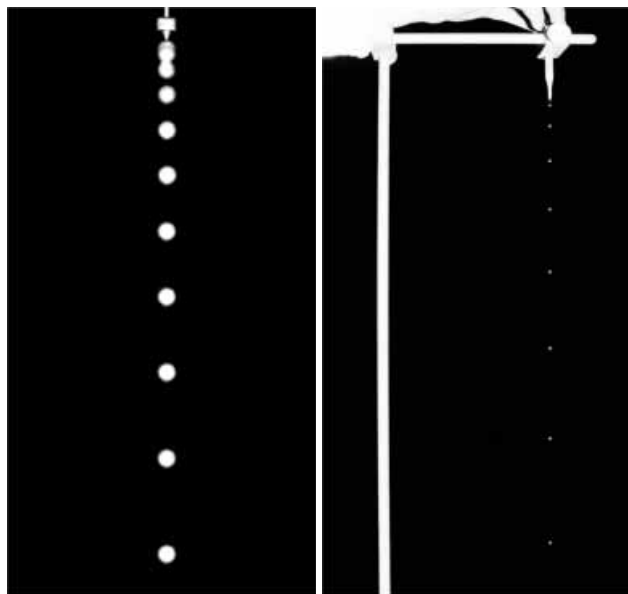
A kísérleti berendezés

A diákok már az elméleti órákon megismerkednek a számítógép-vezérelt stroboszkóppal és a segítségével létrehozott fényképekkel. Az igen komplikált elektronikus berendezés lényege abban áll, hogy a számítógép – assembly nyelvben írt – programja elindítja a szabadon eső golyó esetében a kísérletet (a tejcseppnél kézzel indítunk), a teljesen elsötétített teremben pedig egy nagy fényerejű villanólámpával (a továbbiakban a szakzsargonban használt *blitz*) egymás után, néhány ezredmásodperces (ms) időközökben megvillantjuk a mozgó testet. Egy, a jelenség ideje alatt teljesen nyitott fényképezőgép a különböző

helyzeteket ugyanazon a filmen rögzíti (1. *ábra*). Ezek a képek igen „beszédesen” mutatják a jelenség lényegét, de *hiányzik a diákok saját bozzájárulása, a kísérletezés élménye.*

Lényegében ugyanezt a kísérletet végezzük el a szabadesés szabad szemmel való tanulmányozásakor, csak fényképezőgép helyett a néhány milliomod másodpercig megvilágított golyót saját szemünk „fényképezi le”. Az asztalokon elhelyezett magas állványokon egy elektromágnes segítségével tartjuk a golyókat (2. *ábra*). A golyó indulási helyét egy rögzített helyzetjelzővel határozzuk meg. A kísérlet indításakor a számítógép kikapcsolja a teremvilágítást, majd 0,1 s várakozás után kikapcsolja a golyót tartó elektromágnesek áramellátását, és ezt azonnali (néhány μ s) felvillanással jelzi. Egy előre meghatározott idő után (maximum 475 ms, ezt engedi meg állványunk) a teljesen sötét teremben felvillantjuk a blitz lámpát, a diákok pedig „lefényképezik” a golyó helyzetét. Egy másodperc elteltével a számítógép visszakapcsolja a teremvilágítást és az elektromágnesek áramellátását. A rendszer készen áll az újabb kísérletre. Néhány próbálkozás után, az emlékezetünkben maradt kép és egy másik, állítható helyzetjelző segítségével pontosan meghatározhatjuk a golyó második felvillanáskori helyzetét. Ezután csökkentjük a golyó elengedése és a blitz második felvillantása közötti időt, majd meghatározzuk az eső golyó újabb helyzetét. A jól elsajátított kísérletezési technika birtokában a villanások közötti időt 25 ms-os lépésekkel egészen 100 ms-ig csökkenthetjük.

1. *ábra.* Golyó szabadesése balra ($\Delta t = 30$ ms) és tejcsepp szabadesése jobbra ($\Delta t = 30$ ms).



2. *ábra.* A golyót ejtő berendezés összeállítása a méréshez.



Tipikus mérési eredmény a szabadesés vizsgálatához

t (ms)	475	450	425	400	375	350	325	300	275	250	225	200	175	150	125	100
b (cm)	106	96,3	83,1	75,2	64,3	57,1	47,6	40,2	34,1	28,4	22,1	17,6	13,1	9,5	6,4	3,9
t (s)	0,475	0,450	0,425	0,400	0,375	0,350	0,325	0,300	0,275	0,250	0,225	0,200	0,175	0,150	0,125	0,100
t^2 (s ²)	0,226	0,203	0,181	0,160	0,141	0,123	0,106	0,090	0,076	0,063	0,051	0,040	0,031	0,023	0,016	0,010
b (m)	1,059	0,963	0,831	0,752	0,643	0,571	0,476	0,402	0,341	0,284	0,221	0,176	0,131	0,095	0,064	0,039
$b^{1/2}$ (m ^{1/2})	1,029	0,981	0,912	0,867	0,802	0,756	0,690	0,634	0,584	0,533	0,470	0,420	0,362	0,308	0,253	0,197

A megtett távolságokat a két helyzetjelző és egy mérőszalag segítségével 5 mm pontossággal határozhatjuk meg. Az elektromágnes áramának kikapcsolása és a második villanás között eltelt idő pontossága, amelyet kvarcetalonokkal ellenőriztünk: 10 μ s. 475 ms – körülbelül 0,5 s – a maximális esési idő, ez alatt a golyó nagyjából 5 m/s sebességre tehet szert, tehát a kísérlet folyamán ezen 10 μ s alatt kevesebb, mint 0,05 mm-t eshet a golyó, ez pedig két nagyságrenddel pontosabb érték a távolság mérésénél.

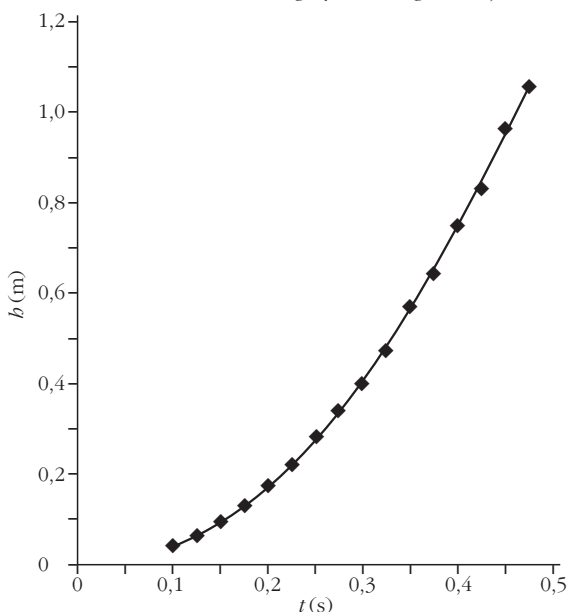
Mérési eredmények

Ez a laboratóriumi gyakorlat látszólag igen egyszerű, mindenki számára érthető mérési eredményeket ad. Az 1. táblázatban látható tipikus mérési eredményt az egyik diák dolgozatából vettük. Csak az első két sor jelenti a valódi mérési eredményeket, a többi az ábrázoláshoz szükséges, kiszámított adatokat tartalmazza.

A mérési eredmények értelmezése

Egy mérési sorozat elvégzése után ábrázoljuk a mérési eredményeket és megpróbáljuk értelmezni azokat. A 3. ábrán jól látható a megtett út parabolikus alakja,

3. ábra. A szabadon eső golyó út-idő grafikonja.



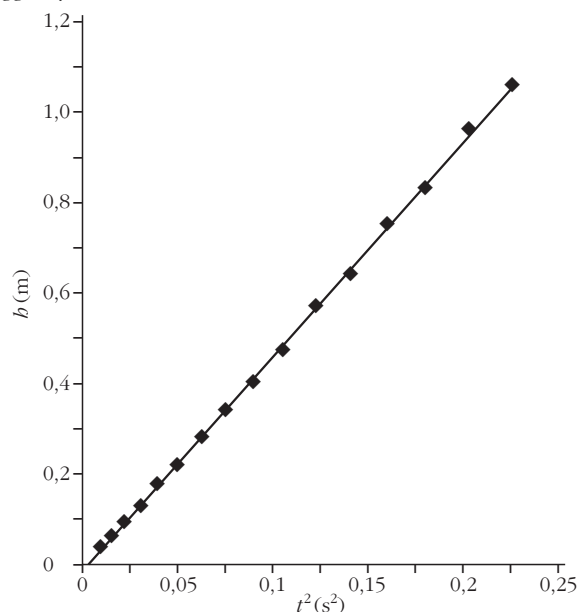
azaz négyzetes függése az időtől. Ezen felületes megállapítás után be is fejezhetnénk a mérések értelmezését, hiszen igazoltnak tűnik a jól ismert

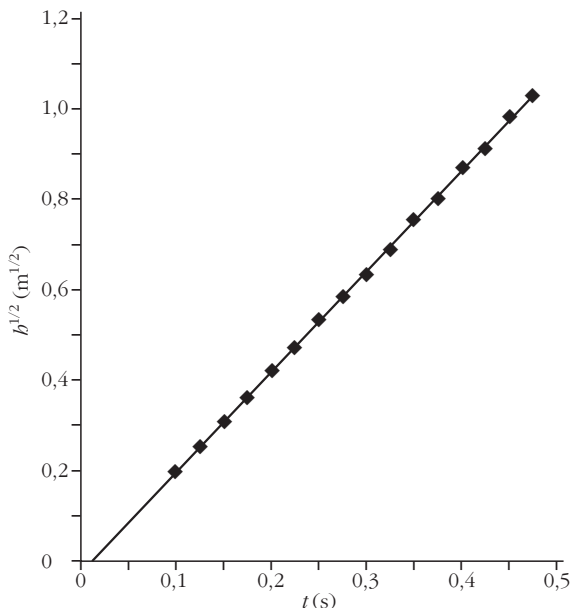
$$b = \frac{g}{2} t^2$$

szabadesési törvény.

A továbbiakban azt fogjuk megvizsgálni, hogy tényleg egyszerű négyzetes összefüggésről van-e szó, vagy a görbe alakjából más, szabad szemmel nem látható jelenségre is következtethetünk. Ha a látott jelenséget a $b = g t^2 / 2$ összefüggés írja le, akkor a megtett b út grafikonja az idő négyzetének függvényében az origón áthaladó egyenest kell adjon. Az egyenes iránytényezője tartalmazza a mozgás gyorsulását, így meghatározhatjuk a gravitációs gyorsulást is. A 4. ábrán jól látszik a feltételezett négyzetes összefüggés helyessége (a grafikon teljesen egyenes), *de nem megy át az origón!* Ez valójában azt jelenti, hogy a mozgás rövidebb ideig tart, mint ahogy gondoltuk, vagyis a mérési eredményeink helytelenek. Természetesen a készülékek pontossága és az igen sok mérés ezt az utóbbi feltevést nem látszik igazolni. A mérések során a diákok észre szokták venni, hogy – igen kis időintervallumok esetén – az egyformán elengedett golyók nem minden mérőcsoportban

4. ábra. A szabadon eső golyó által megtett út az idő négyzetének függvényében.





5. ábra. A szabadon eső golyó által megtett út négyzetgyöke az idő függvényében.

tesznek meg ugyanolyan hosszú utat, ugyanannyi idő alatt (centiméternyi különbségek is adódnak). Ez csak úgy fordulhat elő, hogy az egyedi kísérleti eszközök különböznek egymástól. Az egyetlen lehetséges lényeges különbség – miután a távolság- és időmérés pontatlansága a korábban leírtak alapján nem okozhat ekkora eltérést – a golyókat adott pillanatban elengedő egyes elektromágnesek felépítésében lehet. Az áram kikapcsolása után az elektromágnes (a vas remanenciája miatt) még visszatartja a golyót, és ez valóban okozhatja a néhány ms-ra becsült késést.

Feltételezve, hogy csak ez a jelenség áll a késés mögött, akkor a megadott, pontosnak hitt t időből le kell vonnunk a mindegyik elektromágnesre jellemző egyedi elengedési Δt_{egyedi} időt, így a mozgás valódi t_v idejével jelölve felírhatjuk:

$$h = \frac{g}{2} t_v^2, \quad (1)$$

ahol t_v időt visszszámíthatjuk a mérési eredményeinkből. A

$$t_v = t - \Delta t_{\text{egyedi}} \quad (2)$$

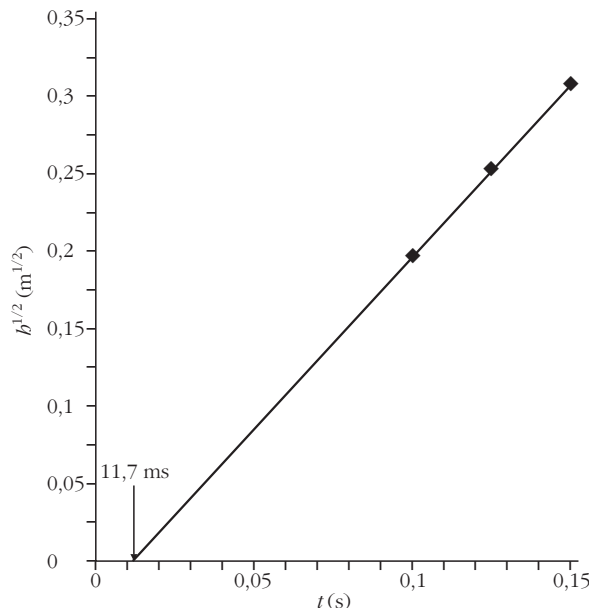
helyettesítéssel az új függvényünk így alakul:

$$h = \frac{g}{2} (t - \Delta t_{\text{egyedi}})^2. \quad (3)$$

Ennek ábrázolása és értelmezése lehetetlen, mert nem ismerjük a Δt_{egyedi} -t. Ha az előbbi egyenletből gyöközt vonunk, akkor a következő kifejezéshez jutunk:

$$\sqrt{h} = \sqrt{\frac{g}{2}} (t - \Delta t_{\text{egyedi}}). \quad (4)$$

Ezt a függvényt ábrázolva az 5. ábra grafikonját kapjuk, ahol jól látható az elektromágnes által okozott



6. ábra. Az 5. ábra origóhoz közel eső részlete, jól látszik, hogy késleltetve kezdődik a szabadesés.

késleltetés. A következő, 6. ábrán szereplő kinagyított grafikonon az extrapolált görbe időtengellyel való metszéspontját is leolvashatjuk. A mérési eredményeket elemezve és felhasználva a legkisebb négyzetek elvét, megkapjuk a jelenséget leíró elsőfokú görbe tapasztalati egyenletét:

$$\sqrt{h} = 2,2207 t - 0,0261, \quad (5)$$

ahol a mértékegységek $\text{m}^{1/2}$ és s.

A mérési eredmények értékelése, hibaforrások

Vessük össze az adatok feldolgozásából származó eredményeket a kísérlet fizikai adataival. A kísérletet leíró elsőfokú görbe tapasztalati egyenlete (5) és az elméleti megfontolás (4) egyenlete összehasonlításával megkapjuk a gravitációs gyorsulás értékét ebben a kísérletben:

$$g = 2 \cdot 2,2207^2 = 9,86 \text{ m/s}^2,$$

ami a kísérleti körülmények ismeretében igen jó eredménynek számít. Ezzel a módszerrel a meghatározás hibája jobb, mint $0,1 \text{ m/s}^2$ (1%). A fő hibaforrást a távolságmeghatározás leolvasási pontatlansága jelenti, hiszen az időintervallumok mérésének pontatlanságából eredő hiba nagyságrendekkel kisebb annál. Az elektromágnes visszatartási idejét a következő összefüggés adja:

$$\Delta t_{\text{egyedi}} = 0,0261 \cdot \sqrt{\frac{2}{9,86}} = 11,7 \text{ ms}.$$

Ez az érték is bőven belefér a szokásos értékhatárba, hiszen az elektromágnes általában 8–15 milliszekundumig tartja vissza a golyót (könnyen ellenőrizhetjük, ha a szabadesés törvényét ismertnek tekintjük, és elfogadjuk a nehézségi gyorsulás $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ értékét).

Következtetések

A fentiekben egy egész osztállyal elvégezhető kísérletet mutattunk be. Összegezve a leírtakat, megállapíthatjuk:

- Ez a módszer lehetőséget nyújt a szabadesés úttörvényének igazolására, valamint az elektromágnes visszatartási idejének meghatározására.
- A legkisebb négyzetek elve alkalmazásával a megkapott úttörvény deriválásával eljutunk a pillanatnyi sebesség törvényéhez, illetve az egymás melletti mérések segítségével egy-egy pontban megkaphatjuk az átlagsebességet is.
- A nagy visszatartási idő miatt a gravitációs gyorsulás meghatározása egy mérésből lehetetlen az elektromágnes kikapcsolása és egy helyzetérzékelő alkalmazásával.

- A megfigyelési idő folytonos csökkentésével, feltételezve, hogy a visszatartási idő egy beállított elektromágnesnél lényegesen nem változik, a módszer lehetővé teszi a gravitációs gyorsulás elég pontos meghatározását. Ez – ha eltekintünk a visszatartási idő esetleges megváltozásától – valójában azt jelenti, mintha igen sok helyzetérzékelőt alkalmaznánk.

- Egy precíziós berendezés (1500 mm-es tolmérő, 0,02 mm pontosságú helymeghatározás) tervezése során ebből a nagy visszatartási időből, mint legfőbb hibaforrásból indultunk ki, ezért az elektromágnes egyáltalán nem tartalmaz vasat (légmagos tekercs), a Lenz-törvényből származó visszatartás elhanyagolhatósága érdekében pedig az elektromágnes áramát egy számvezérelt táp csökkenti igen lassan (kb. 2 s) addig, amíg a golyó le nem esik.

IZGALMAK A VARÁZSTORONY VETÉLKEDŐ DÖNTŐJÉN

Vida József

Eszterházy Károly Főiskola, Eger

Az öt hónapig tartó háromfordulós Varázstorony vetélkedőre 37 Heves megyei iskola több mint 1200 tizenhárom éves tanulója nevezett be. A versenyt az Eszterházy Károly Főiskola Természettudományi Pályaorientációs és Módszertani Központja (Varázstorony), az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Heves megyei Csoportja és a Heves megyei Pedagógiai és Köznevelődési Intézmény szervezte.

2010. március 10-én volt a döntő az egeri líceumban, amelyen a benevezett iskolák 3-3 fős csapatai vettek részt. A versenyt megelőzően a csapatok benevezési tablójukat a díszterem előtti aulában a számukra kijelölt paravánokra erősíthették fel (1. ábra). A szakmai zsűri pontokkal minősítette a produkciókat, amely pontok beszámítottak a csapat- és egyéni versenybe is. Az így létrejött *A Naprendszer kutatása* című poszterkiállítás két hétig volt látogatható a nagyközönség számára is.

1. ábra. A plakátverseny egyik díjazott posztere, szerzői: Hanuszik Éva, Kis Zsófia és Kenéz Gergő, I. István Általános Iskola, Maklár.



A vetélkedő a líceum második emeleti előadótér-mében kezdődött. Izguló diákok, az őket kísérő tanárok és szülők töltötték meg a termet. A tanulókból reménykedő sóhajok, a kísérőkből biztató szavak törektek elő, amikor meglátták a terem előterében kiállított nyeresémtárgyakat: a csillagászati távcsövet, a hat hangszórós szuper DVD-lejátszót, a nagy teljesítményű természetfigyelő és csillagászathoz is alkalmas binokulárokat, valamint a többi nagy értékű könyv- és egyéb ajándécsomagot.

A vetélkedő ünnepélyes megnyitója (2. ábra) az Eötvös Loránd Fizikai Társulat főtitkára mondataival indult. *Kádár György* többek között a fizikatanári pálya teljes elnéptelenedésének súlyos társadalmi következményeiről beszélt, majd egy példán keresztül mutatta be a természeti jelenségek fizikai oldaláról történő megközelítését. Őt *Liptai Kálmán*, az Eszterházy Károly Főiskola Természettudományi Kar dékán-

2. ábra. Megnyitó ünnepség, első sor balról jobbra: *Liptai Kálmán*, az EKF TTK dékánja, *Révészné Bögös Zsuzsanna*, a megyei pedagógiai szolgáltató központ munkatársa, *Kádár György*, az ELFT főtitkára, *Ujfaludi László*, az ELFT Heves megyei elnöke, *Vida József*, a Varázstorony egységvezetője.

