

EÖTVÖS LORÁND ELŐADÁSI KÍSÉRLETEINEK GYÖNGYSZEMEI

Kovács László
Nemesrempehollós

Az Eötvös Loránd Tudományegyetemen 1965-ben fejeztem be tanulmányaimat. Friss matematika-fizika szakos középiskolai tanári diplomával a kezemben azonnal fizika-kémia tagozatos diákok osztályfőnöke lettem Nagykanizsán.

A *Fizikai Szemlében* olvastam, hogy tantárgyaim megszerettetése érdekében először a törvényeket megalkotó embereket kell megszerettetni. Az az ötletem támadt, hogy ne csupán az iskolának, hanem osztályunknak is legyen névadója. A választás *Eötvös Lorándra* esett. Fizikai eredményei egyértelműek, és a felületi feszültségre vonatkozó Eötvös-törvényben kémia is akad. Készült osztálycímer (1. ábra), tabló, kísérleti berendezés, elhangzottak előadások a klubdélutánok bevezetőjeként, kitűztünk országos kísérleti pályázatokat. Munkánk alapjául az 1930-ban, az MTA kiadásában megjelent *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv* szolgált.¹ Az *Emlékkönyv* második része az általa 1891-ben alapított *Mathematikai és Fizikai Társulat* tiszteletadása szeretett elnökük 70. születésnapjára, a *Báró Eötvös Loránd-füzet*. Az ebben olvasható, a tudós egyéniségéről írt meleg hangú *Mikola Sándor*-tanulmány mellett *Rybár István* *Előadásairól és eredeti előadási kísérleteiről* című értekezésére építettünk.

A továbbiakban Eötvös Loránd *Tanár Úr* néhány olyan kísérletét ismertettük, amelyet nemcsak az egyetemről hallgatók láthattak, hanem a Matematikai és Fizikai Társulat tagjai és a *Természettudományi Társulat* előadó üléseinek látogatói is. A *Természettudományi Közlönyben* olvashatjuk, hogy az 1888. januártól húsvétig terjedő időben hetenként tartott, összesen 10 előadásra a közönség soraiban államtitkár, miniszteri tanácsos és számos más, a közéletben



1. ábra. A nagykanizsai Eötvös-osztály címere.

„előkelő helyet elfoglaló” személy is volt. Így vált Eötvös, a tudós-tanár, az egész ország tanárává.

A kísérletekkel átszótt előadások különösen fontosak: a látvány, az élő szó, a személyiség varázsa csak így tud hatni. Azonban a nagy távolságok és más okok miatt sokan nem tudnak a bemutatókon részt venni. Számukra – és az utókor számára is – nagyon jó, ha az előadások anyaga nyomtatásban is megjelenik. A közösségformáló szerep mellett ez a társulati folyóiratok rendeltetése.

Leírásainkban több esetben nem Rybár szövegére támaszkodtunk, hanem a társulati folyóiratokban megjelent ismertetések és Eötvös saját tanulmányait, az azokban fellelhető ábrákat használtuk.

Előadási kísérlet és laboratóriumi gyakorlat a tömegvonzás kimutatására

Coulomb elektromos és *Cavendish* gravitációs torziós ingái példát adtak arra, hogy igen kis erőhatások kimutatására a csavarási (torziós) ingát kell használni. Az *inga* elnevezés kicsit megtévesztő lehet, mert az ingaóra juthat az eszünkbe, ahol függőleges síkban történik az óramű csillogó szárának, és annak végén a lapos tárcsa lengése. A német és az angol, és néha a magyar szóhasználatban is alkalmazott *mérleg* elnevezés is félrevezethet, mert a mérlegkarok függőleges irányban mozognak. A torziós ingánál a felfüggesztő, tehát függőleges csavarodó szál alsó végén vízszintesen helyezkedik el egy rúd, és ez vízszintes síkban végez periodikus mozgást.

Eötvös az *érzékenység fokozása, a zavaró hatások csökkentése* területein multa felül elődeit. Ő közel másfél méter hosszú felfüggesztő szálat alkalmazott. A torziós szál alsó részéhez erősített vízszintes rúd végeire nagy, lapos, henger alakú ólomsúlyokat erősített. A szálat és a rudat csőbe, illetve lapos hengeres edénybe zárta. A vonzó tömegeket a torziós rúd alatt helyezte el, így azok kellően közel voltak az ingához, mégsem zavarták annak lengéseit.

1888. november 12-én *Vizsgálatok a gravitáció jelenségeinek köréből* címen előadást tartott az MTA-n, és ugyanebben az évben népszerűsítő előadásban is bemutatta eszközét.

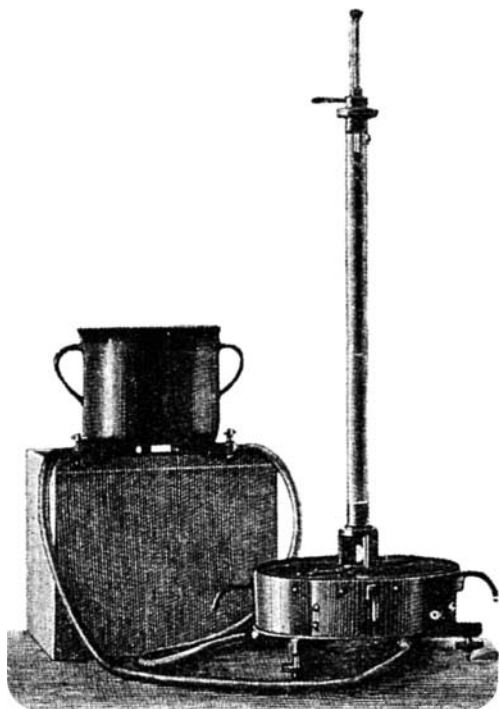
„A fémdobozában jól védett Coulomb-mérleg alatt négy részre osztott hengeres fém edény van, amelynek két-két szemben fekvő negyedét felváltva, alulról hígannyal lehetett megtölteni. Az eszköz már 3-4 perces lengésidőnél elég érzékeny volt és a fűtött és kivilágított előadóteremben megfelelő stabilitást mutatott.”

Az inga rezgésmentes elhelyezését a Fizikai Intézetben az előadóteremig felnyúló, az épülettől függet-

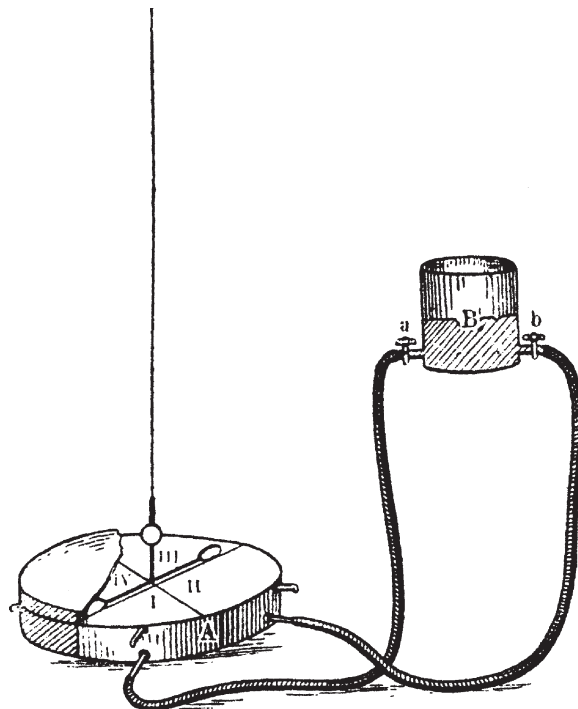
¹ Kicsit meglepődtem, hogy Eötvös báró volt, a róla elnevezett intézményben eltöltött öt év alatt ezt sohasem hallottam.



Kovács László az ELTE-n szerzett matematika-fizika szakos tanári diplomát 1965-ben. 18 évig a Landler Gimnáziumban tanított Nagykanizsán, majd 1983-ban munkatársaival fizika tanszéket alapított Szombathelyen az akkori Berzsenyi Dániel Tanárképző Főiskolán, ahol 25 évig dolgozott. 1988 óta a fizikai tudományok kandidátusa, 2000-ben Debrecenben habilitált. Számos szakmódszertani és fizikatörténeti, hazai és nemzetközi konferenciát szervezett, amelyeknek mindig előadója is volt.



2. ábra. A tömegvonzás kimutatására készített Coulomb-mérleg.



3. ábra. Rybár István ábrája Eötvös eszközéről.

len alapra helyezett, körülbelül 1 m^2 keresztmetszetű pizskei márványoszlop biztosította. Megmutatjuk a német nyelvű cikkben szereplő rajzot (2. ábra), a Rybár István írásában szereplő ábrát (3. ábra) és a ma is meglévő eszközről az Eötvös Loránd Emlékkiállításán készült fotót (4. ábra).

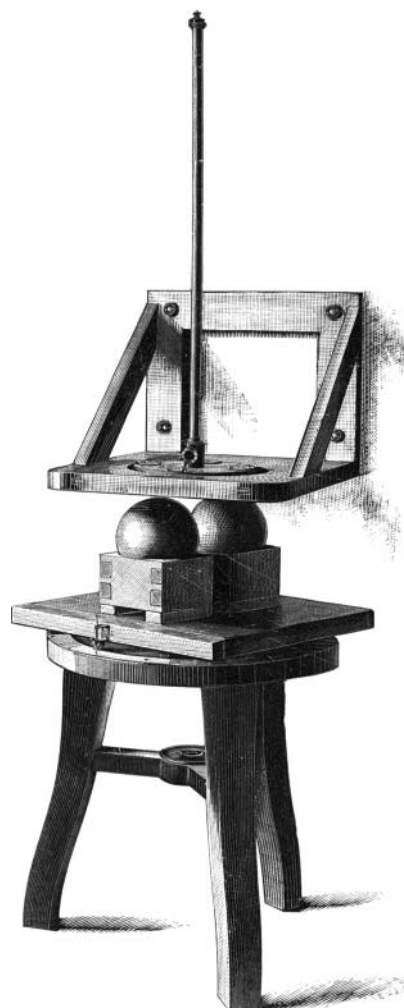
A negyedhengerekben levő higany vonzó hatását viszonylag hosszadalmas volt kiszámítani, ezért a hallgatók laboratóriumi méréseinél az inga alá vízszintes síkban elforgatható asztallapra gömb alakú, illetve paralelepipedon formájú, néha 50-100 kg tömegű, más esetekben pedig csupán 1 kg vagy még kisebb tömegű ólomdarabokat raktak. Az 1910-ig használatban levő labormérési összeállítás rajzát (5. ábra) is közölte Eötvös egy későbbi írásában.

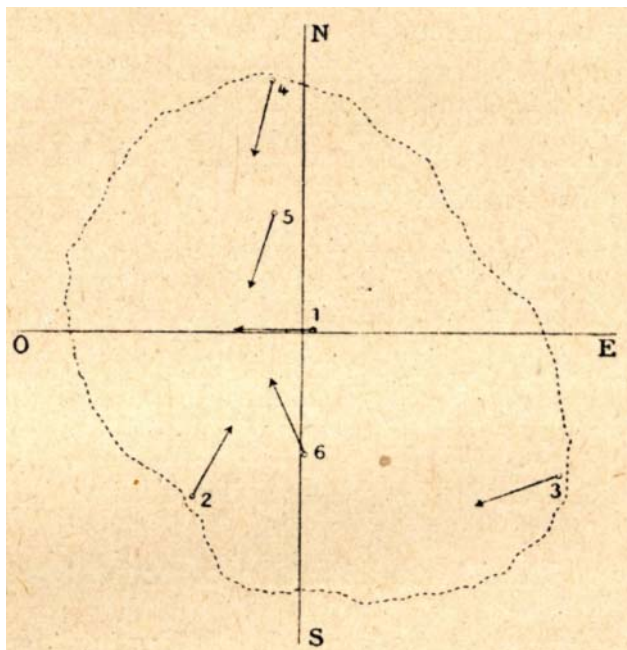
Legnagyobb vonzó erő akkor lépett fel az ólomtömbök és a torziós rúd végein elhelyezett tömegek

4. ábra. Az eredeti demonstrációs torziós mérleg. (Fotó: Kovács László)



5. ábra. Hallgatói méréshez használt összeállítás.





6. ábra. Az 1891. évben a Ság-hegyen végzett észlelések eredményei. (A méréshez használt horizontális variométer fotóját lásd áprilisi számunk első belső borítóján.)

között, amikor a gravitációs kölcsönhatásban lévő testek középpontjait összekötő egyenes merőleges a rúdra, és közel 55 fokos szöget zár be a vízszintessel. A vonzó erő nagyobb lett volna, ha a tömböket a torziós rúddal egy magasságban helyezik el, azonban a tanár úr eszköze így is kellően érzékeny volt: 2-3 fok maximális kitérést lehetett vele észlelni.

Elképzelhető, hogy Eötvös az inga érzékenysége alapján gondolhatott arra, hogy berendezése akkor is kimutatja az ólomtömböket, a szikladarabokat, ha azok a Föld felszíne alatt vannak. Képletesen azt mondhatjuk, hogy a legnagyobb forgatónyomaték most is akkor hat az ingára, ha az ismeretlen, a környezeténél sűrűbb anyagdarab tömegközéppontját és az ingára helyezett tömeget összekötő egyenes 55 fok körüli szöget zár be a vízszintessel. Most nem lehet az inga alatti tömeget elmozdítani, ezért az ingát kell addig mozgatni, amíg megeljük a maximális forgatónyomatékot adó helyet. Sőt, természetesen ennél is tovább kell mennünk, hogy a vonzó centrumtól távolodva a csökkenést is ki tudjuk mutatni. Ez nagyon szépen látszik Eötvös és munkatársai a Ság-hegy, akkor még meglévő platóján 1891-ben végzett méréseiről készült 6. ábrán. A közel kör alakú, 200 m átmérőjű plató szélétől minden mérési pontból befelé haladva nőtt a nehézségi gyorsulás értéke. Az ábrán a nyilak a növekedés irányait jelzik.

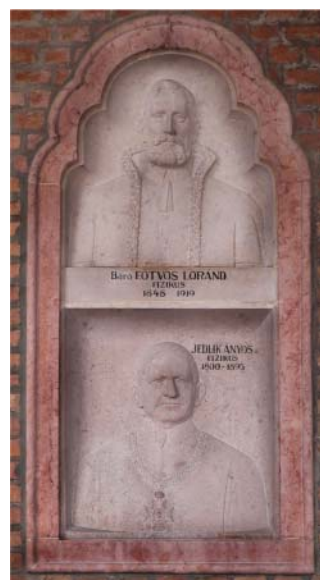
Az Eötvös-inga segítségével nem a nehézségi gyorsulás abszolút értékét lehet meghatározni, hanem annak *változását*. Egészen pontosan a vízszintes komponens változását. Az eljárás hosszadalmas: minden egyes pontban öt különböző, elforgatott helyzetben kell észlelni, majd számolni. (Német szaktekintélyek egy csoportja javasolta, hogy a nehézségi gyorsulás vízszintes összetevője *változásának* egységét Eöt-

vösről nevezzék el. Korabeli egységekben: 1 eötvös = 10^{-9} gal/cm; 1 gal = 1 cm/s^2 , ahol az 1 cm-t vízszintesen kell mérni. A gal *Galilei* nevének kezdete. Így Eötvös Loránd nemcsak eredményes munkásságával, hanem fizikai egységen keresztül is kapcsolódik elődeihez, *Newtonhoz* és *Galileihez*.) Így lehetett a hegyvonulatok föld alatti továbbfutását vizsgálni, így lehetett olajlelőhelyekre bukkanni, megtalálni a földrengés okát Kecskeméten, előre jelezni a vulkánkitörést a Vezúvnál. A torziós mérleggel még azt is ellenőrizni lehetett, hogy 1910. május 19-én éjjel 2 óra 30 perckor a Halley-üstökös csóvája – a sajtóhírekkel ellentétben – nem „seperte végig a Földgolyót”, nem volt semmiféle gravitációs vagy mágneses zavar.

Nagy lengésidők mérése

A kis amplitúdójú rezgések felerősítéséhez a rezonancia-módszert használta: amikor a torziós rúd elérte maximális kitérését, az asztal forgatásával áthelyezte az ólomgolyókat a lengő tömegek másik oldalára. (Hasonlóan járt el a negyedhengerekben levő higany átömlesztésénél is.) Az asztal forgatását először kézzel végezte, később automatizálta a forgatást. Megfelelő időközökben óramű zárta az asztallapot elforgató villanymotor áramkörét. *Jedlik* 12 egységből álló, összetett forgó Volta-méterénél is óramű kapcsolta be automatikusan egymás után az egységeket.

A kísérletezés terén Eötvös mesterei a heidelbergi három év alatt *Bunsen* és *Kirchhoff* voltak. Itthon pedig *Jedlik* Ányos, akivel hét közös évet töltött el a tudományegyetemen. Láttá *Jedlik* emberi tartását, munkaszeretét, eszközeit. Néhány kísérleténél segített is neki. Jelképértékű, a szellemi rokonságot mutatja, hogy a Magyar Tudományos Akadémia III. osztálya ugyanazon a napon, 1873. május 21-én emelte tiszteleti tagjai sorába *Jedliket* (31 szavazattal 2 ellen), amikor levelező taggá választotta Eötvöst (30 szavazattal 4 ellen). Ugyancsak szimbolikus erejű, hogy a Szegedi Tudományegyetem árkádsorában kialakított Nemzeti Pantheonban közös dombormű ábrázolja a két fizikust (7. ábra).



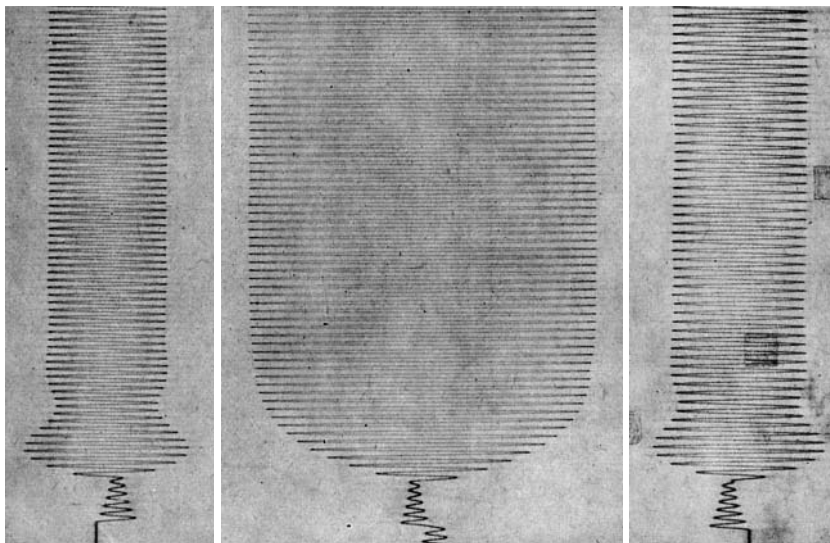
7. ábra. Az Eötvös–Jedlik dombormű a szegedi Pantheonban.

A rezonancia-módszer Eötvös későbbi tudományos munkáinál a nagy lengésidők pontos mérésére szolgált. A légellenállás miatt nagy lengésidőknél egy-két lengés után megállt az inga. A multiplikációs módszer alkalmazásával tetszőleges ideig fenn tudta tartani a len-

gést, így fél órás lengésideőt is tized vagy századmásodperces pontossággal tudott mérni.

A Tanár Úr azért, hogy az egész jelenségről meggyőző bizonyítékot nyerjen, és ezt a hallgatóságnak utólag, bármikor megmutathassa, fotografikus eljárást is használt. A torziós rúd közepére helyezett tükrőről visszavert fény, óraművel egyenletesen mozgatott fényérzékeny papíron, kirajzolta az eszköz kitérés-idő grafikonját. Jedlik „órával szabályozott motoros áramíró”-jában alkalmazott ilyen megoldást az 1860-as években.

Bemutatjuk az Akadémián 1890. április 21-én tartott előadásának fotografikus eljárással készített ábráját (8. ábra).



8. ábra. Fotografikus ábra a gravitációs multiplikátor működéséről.

A vonzó tömegek nagysága 1,85 kg, az inga lengésideje 10 perc, a tömegáthelyezések időintervalluma a bal oldali esetben 9 perc, a jobb oldalánál 11 perc, a rezonancia esetén – közepén – 10 perc volt. A kép alján a sokszorozás nélküli lengések jelei láthatók. Pontos számértékekkel is jellemezte a multiplikálást.

$$T = 611 \text{ s}, \quad t = 611 \text{ s}, \quad \Phi = 252'$$

$$T = 611 \text{ s}, \quad t = 600 \text{ s}, \quad \Phi = 225'$$

$$T = 611 \text{ s}, \quad t = 590 \text{ s}, \quad \Phi = 180'$$

Ahol T a rúd lengési ideje, t a tömegek periodikus áthelyezésének ideje és Φ a végső kilengés nagysága.

A gravitációs állandó mérése

Az Eötvös-ingák nagyfokú érzékenységének két hátránya volt. 1. Kezelésük nagy szakértelmet, gyakorlatosságot követelt. A külföldi ingavásárlóknak több esetben Magyarországra kellett jönniük megtanulni az inga kezelését. 2. Egy-egy mérés – és főleg a terepen egy-egy méréssorozat – nagyon hosszú ideig tartott. Gondoljuk meg, ha nemcsak a vonzás tényét akarjuk demonstrálni, hanem mérni is szeretnénk, akkor az ólomtömbök elhelyezése után, illetve az inga elforgatását követően meg kell várni a lengésbe jött inga megállását. Sokáig kell várni, amíg a fénymutató kijelöli az új egyensúlyi helyzetet, illetve a leolvasó távcsőben már nem látunk lengést. Követhetjük *Cavendish* módszerét is: a torziós rúd végénél leolvasott néhány maximális kitérésből meghatározható a nyugalmi helyzet. De ez is időigényes.

A Tanár Úr nagyszerű ötlete abban rejlik, hogy nem az egyensúlyi helyzetek változását kell keresni, hanem a statikus módszer helyett dinamikus módszert kell választani.

Két egymásra merőleges helyzetben méri a lengésideőt a befolyásoló tömegek jelenlétében, illetve anélkül, és a lengésideők különbözőségéből következtet a vonzó hatásra. Ezt tette már első „terepi” mérésénél, a Rudas-fürdő igazgatósági épületének földszintjén,

amikor a Gellérthegy vonzó hatását vizsgálta a görbületi variométernek nevezett eszközzel.²

Eötvös *Jelentés a Szent-Gellérthegy vonzó erejéről* címen ismertette eredményeit a Tudományos Akadémia III. osztályának 1889. május 20-i ülésén.

„A görbületi variometer rúdjának lengési ideje e helyen a hegy felé irányított egyensúlyi állás körül 564,6 s., arra merőlegesen 572,2 s. volt. Ugyanott a mérő-drót elcsavarodását a mérlegrúdnak két egymásra merőleges, az előbbi iránnyal 45 fok szöveget képező állítása közben 45 percczel egyenlőnek találtam. Ez utóbbi érték alig 1 percczel tér el attól, melyet a lengés időkből számítás útján nyerünk. A variationak ezekből folyó értéke megfelel a hegy alakjának és tömegének, a mennyiben ezeket szabálytalanságok mellett számításba vehetjük.”³

Ugyanilyen módon megmérte a gravitációs állandó értékét is: egyenként 610 kg tömegű ólomoszlopok között és anélkül lengette az ingát két, egymásra merőleges helyzetben. Az oszlopok között a két mérő lengésideőérték 641 és 860 másodperc volt, az oszlopok eltávolítása után pedig 743 és 759 másodperces időket mért. Ezen adatokból a gravitációs állandó értéke: $f = 0,000\,000\,066\,5$, a pontosság 1/500.

Érdekes kiszámítanunk, hogy ólom nélkül 2%-kal, az oszlopok között pedig 34%-kal változott meg a lengésideő.

A hét évvel korábbi, az első terepi mérésnél a hegy vonzása 1,3 százalékkal változtatta meg a lengésideőt. A nagy százalékos változás nem is annyira

² Erre emlékeztet Eötvös születésének 150. évfordulójakor, 1998-ban az Eötvös fizikai versenyen *Radnai Gyula* tanár úr, aki *Vermes Miklós* után 25 éven keresztül volt a versenybizottság elnöke, majd pedig örökös tiszteletbeli elnöke lett, egy erre vonatkozó feladatot tűzött ki. A megoldás a <elft.hu/wp-content/uploads/2016/11/Eötvös-verseny_1998.pdf> található.

³ Ebben az esetben nem tudta a hegyet eltávolítani – mint ahogyan az ólomoszlopot a következő kísérletnél –, ezért kellett az eszközt 45 fokkal elfordítani, és ekkor a hegy vonzásának tekintetében nincs különbség az egymásra merőleges helyzetek közt!



9. ábra. Mérés demonstrációs Coulomb-ingával a müncheni Deutsches Museumban.

az eszköz tökéletesítésének, hanem inkább annak tulajdonítható, hogy a lengő tömegekhez közel voltak a vonzó tömegek.

A müncheni Deutsches Museum meglátogatásakor saját építésű, feszített szálak torziós ingákkal megismételtük Eötvös mérését. Először az épület tornyában – ahol a Foucault-inga leng – a földszinten, *Philipp von Jolly* eredeti, közel 6 tonnás (5775,2 kg) ólomtömbjénél mértünk. (Ő 1880-ban az ólomgolyó fölött helyezte el egy közönséges matematikai ingát. Mérté, hogy a golyó milyen mértékben változtatta meg a lengésidejét. A lengésidejének megváltozásával igazolta a tömegvonzást, illetve – a kor szokásainak megfelelően – meghatározta a Föld sűrűségét.)

Második mérésünket az első emeleten a Jolly-gömb mérhető modelljénél – amelynek csupán a felületét borítják ólomlemezek – végeztük. Méréseink igazolt-

10. ábra. Eredeti Eötvös-inga a müncheni Deutsches Museumban.



ták a különbséget (9. ábra). A múzeumban boldogan fotóztuk a kiállított eredeti Eötvös-ingát, Süss Nándor alkotását (10. ábra).

Nagy tanulság, hogy a számítógép, az okostelefon, vagy más elektronikus eszköz segítségével végzett fizikai mérések mellett a mai napig létjogosultsága van a 140 év előtti kísérleti elrendezéseknek.

A nehézségi gyorsulás, a g mérése

A Magyar Természettudományi Társulat *Than Károly* elnökletével „1879 jan. 15-ikén a m. tud. akadémia kis termében” tartotta évi közgyűlését. Itt jelentették be, hogy a választmány megbízta „Dr. B. Eötvös Loránd urat a nehézségi gyorsulás meghatározásával itt Budapesten, a Kárpátokban és az Alföldön”. Eötvös egy későbbi választmányi ülésen elmondta, hogy nem tudja teljesíteni a megbízatást, mert nem áll rendelkezésére a méréshez megfelelő terem. Visszaadta a feladatért megelőlegezett 300 koronát, amit még meg is toldott 100 koronával. A feladat azonban foglalkoztatta, és egy demonstrációs mérőeszközt épített.

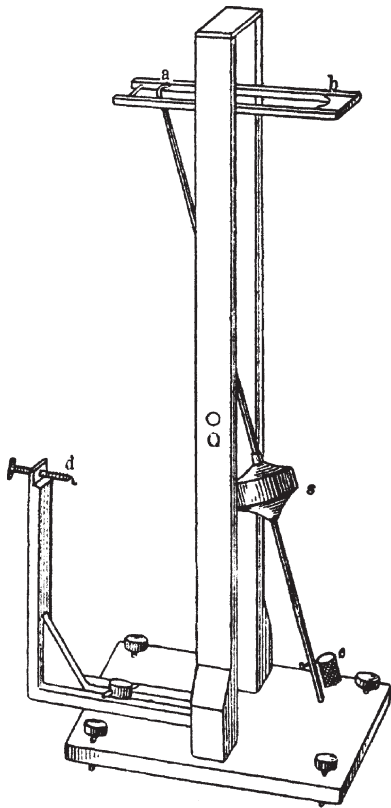
Tanítási órán a tanteremben szabadeséssel is meg kell határozni a g -t. Biztosítani kell a koincidienciát: pontosan abban az időpontban kell indítani az időmérést, amikor a test esni kezd. Több különböző megoldást ismerünk a koincidencia biztosítására.

Tanár Úr látványosan oldotta meg ezt a feladatot. Súlyos ólomtalpra függőleges keretet állított; ennek közepén van egy rúdinger tengelye. A nehezzel ellátott 130 cm hosszú rúd alsó végén kis kosárkát helyeztet el. A rúd felső végére félkörben kivágott, vízszintesen álló fémlapot, egy villát tett. Az inga egyik szélső helyzetében ez a fémlap és az állványhoz rögzített, ugyancsak félkörben kivágott fémlap egy acélgolyót tart. Az ingát ebben az állapotában cérnával rögzítette az állványon lévő állítható csavarhoz. Ha a cérnát elégette, akkor ugyanabban a pillanatban kezdett szabadon esni a golyó és lengeni az inga (11. ábra, balra). Gondos beállítással elérhető, hogy amikor az inga a másik szélső helyzetébe kerül – pontosan a golyó indítási helye alá – akkor érkezik oda a golyó, és beleesik a kosárkába.

Az ejtő ingájának lengésideje fél másodperc. A lengésidejét például tíz lengés idejéből viszonylag pontosan meghatározhatjuk. A kosárka és az állványra szerelt villa közötti távolság 122,5 cm. Így tantermi méréssel a Tudományegyetem egykori Fizikai Intézetének előadó termében (az „Eötvös-teremben”) a nehézségi gyorsulás értéke:

$$g = \frac{245 \text{ cm}}{0,25 \text{ s}^2} = 980 \text{ cm/s}^2.$$

A tudományos pontosságú méréshez nem csak megfelelő terem, de alkalmas mérőműszer sem állt Eötvös rendelkezésére. 30 évvel később úgynevezett négyingás műszereket vásárolt és *Oltay Károly* műegyetemi tanárt bízta meg a méréssel, aki 1908-, 1911-



11. ábra. Balra Eötvös félmásodperces ejtőingájának rajza, míg jobbra annak szombathelyi másolata. (Fotó: Molnár László)



12. ábra. Feszt László rézkarca (1994).

és 1913-ban Magyarország több helyén mérte a g -t. Budapesten a „kir. József műegyetem fizikai intézetében (108 m magasan, Greenwich-től keletre: $19^\circ 3' 11''$ és az északi szélesség $47^\circ 28' 49''$ helyén)” $g = 980,852 \text{ cm/s}^2$ értéket kapott.

Eötvös félmásodperces kosaras ejtőingája az 1970-es évek óta a Műszaki Múzeumban van, leltári száma 75.254.1. 1992-ben egy másolat készült róla (11. ábra, jobbra) a Berzsényi Dániel Főiskola Fizika Tanszékén Szombathelyen, Somogyi Péter szakdolgozati munkája.

A földmágnesség kimutatása

Eötvös számos, eredeti, egyszerű kísérletei közül már csak egyet emelünk ki. Ezt is azért, mert az 1960-as évektől kezdve Budapesten, az ELTE Kísérleti Fizika Tanszékének Múzeum körüti, II. emeleti előadótermében és 1995-től Szombathelyen, a Berzsényi Dániel Főiskola Fizika Tanszékén is bemutatták.

Idézzük a 1893-as, az első Matematikai és Fizikai Társulati közgyűlésről szóló ismertetésből:

„Az előadások sorát b. EÖTVÖS LORÁND zárta be. ... Ezúttal ő is csak két ilyen kísérletet kíván bemutatni. ...

Az egyik az indukció kimutatása, a mely egyenes vezetőben keletkezik akkor, a midőn ez a földi mágneses térben mozog. Ennek elektrom-indító ereje elemi úton kiszámítható s értéke luV , ha l a vezető hossza, u a mozgás sebessége, V pedig a földmágnesség verticalis componense. A bemutatott kísérletben $l = 200$, $V = 0,3$,

u pedig 100, mely adatokból $E = 200.100.0,3 = 6000 \text{ CGS}$, vagyis mintegy $6/100,000 \text{ Volt}$.⁴

A vezető egymástól 2 méternyi közben kifeszített dróton volt mozgatható, s az eközben indított áram a galvanomotéren 5-10 foknyi kitérést okozott, melynek iránya a mozgás irányától függ.

A másik kísérlet a tömegvonzás bemutatása volt.”

Ezzel az írással, és zárásként Feszt László grafikájával (12. ábra) szeretnénk tisztelni Tanár Úr emléke előtt, halálának 100. évfordulóján, 2019-ben, az Eötvös Loránd emlékében.

Irodalom

Báró Eötvös Loránd-füzet. *Matematikai és Fizikai Lapok* 27(1918) 6–7. füzet

Rybár István: VII. Előadásairól és eredeti előadási kísérleteiről. *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv*. Budapest (1930) 240–260.

Eötvös Loránd: Vizsgálatok a gravitáció és a mágnesség köréből. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 14 (1896) 221–266; német fordításban: Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus. *Annalen der Physik und Chemie, Neue Folge* 59 (1896) 354–400.

Eötvös Loránd: A nehézség és a mágneses erő nivófelületeinek és változásainak meghatározása. *Matematikai és Fizikai Lapok* (1900) 361–385.

<https://drive.google.com/open?id=1IHZHiEDmvO9IAM0mEOngSNgtAVCKAqUq>

Akadémiai Értesítő 1 (1890) 274. és *Math. u. Naturw. Ber. aus Ungarn* 8 (1891) 450–451.

A Szt. Gellérthegy vonzó erejére vonatkozó vizsgálatok *Természettudományi Közlöny* (1889) 198.

⁴ A számértékek közötti szorzópont az akkori nyomdai konvenció szerint a számok lábánál volt, és vessző választotta el a keletkező feszültségérték nevezőjében a nullákat.