

EGY MAGYAR TUDÓS KÉT HÁBORÚ KÖZÖTT

– Bárá Eötvös Loránd élete és munkássága

Keszei Ernő

ELTE TTK Kémiai Intézet

Ez év április 8-án éppen 100 éve annak, hogy *Eötvös Loránd* eltávozott az élők sorából. E cikkben ezen évforduló jegyében egyrészt születésének és halálának körülményeiről lesz szó, másrészt a születésekor, valamint halála előtt történt két nagy háború közötti időszak néhány sajátosságáról. Az első, az 1848–49-es magyar honvédő háború csak ideiglenesen, rövid időre érte el Magyarország függetlenségét, de az ország területe megmaradt. A második, az 1914-ben kitört világháború után Magyarország valóban független állam lett, de területének több mint kétharmadát és lakosságának jelentős részét is elveszítette. Amennyire szerencsétlen események történtek az országban Eötvös Loránd születésekor és halála körül, annyira szerencsés időszak volt felnőtté és kutatóvá válásának ideje, amit szokás „boldog békeidőnek” is nevezni – bár ekkor sem volt teljesen felhőtlen a magyar tudományos közélet. Természetesen lehetetlen emlékezni az egyik legnagyobb magyar tudósra anélkül, hogy tudományos teljesítményéről szó ne esne. A cikkben részletesebben – elsősorban a kémiai szempontból különösen érdekes – felületi feszültséggel kapcsolatos vizsgálatairól és az azokból levont Eötvös-szabályról lesz szó, de röviden áttekintjük a gravitációval kapcsolatos eredményeit is, amelyek leginkább felelősek Eötvös tudományos ismertségéért.

A születés és a halál körülményei

Eötvös Loránd 1848. július 27-én született Budán. Születésekor már sok problémával küzdött a március 23-án megalakult „első független magyar felelős minisztérium”, amelyben *Eötvös József*, Loránd apja vallás- és közoktatásügyi miniszter volt (1. ábra). A születés körülményeiről abból a levélből értesülhetünk, amelyet apja Lorándnak, az akkor Heidelbergben tanuló ifjúnak 20. születésnapjára írt:

A *Magyar Kémikusok Lapja* 2019. májusi számának 156–161. oldalain megjelent cikk folyóiratunk számára átirat változata. A *Magyar Kémikusok Lapja* engedélyével közöljük.



Keszei Ernő az ELTE-n szerezte vegyészdiplomáját (1975) és doktori fokozatát (1978); jelenleg emeritus professzor. 1985–91 között négy évet volt vendégkutató a kanadai Sherbrook-i Egyetemen, ahol ultragyors lézerekinetikai (femtokémiai) kutatásokba kapcsolódott be. Jelenleg femtokémiai kísérletek és fehérjekémiai NMR-mérések kinetikai elemzésével foglalkozik. 1993–2007 között a Fizikai Kémiai Tanszék vezetője, 2010–2013 között pedig az ELTE tudományos, kutatási és innovációs rektorhelyettese volt.



1. ábra. Tyroler József színezett metszete az 1848. március 23-án megalakult Batthyány-kormányról. Eötvös József az alul lévő Deák Ferenc fölötti sorban, a jobb oldalon látható.

„Ma töltöd be huszadik évvedet. A nap, melyen születted, éltem egyik legkínosabb napja volt. Anyád a szülés következtében életveszélyben forgott. Benn a városban a felséges nép lázongott, és míg feleségem betegágyánál ülve, remény és kétségbeesés között számoltam érütéseit, a Pest-Budai tornyokról a vészharang hangjai tölték meg az éji csendet, és egyik üzenet jött a másik után, mely minisztertanácshoz szólított. Sohasem szenvedtem többet, mint ezekben az órákban; míg hajnal felé Balassa tudtomra adá, hogy anyád veszélyen kívül van; s őt megcsókolva, a városba lesiettem.” [1]

A kormány szeptember 23-i lemondása után Eötvös József kiutazott Bécsben tartózkodó családjához, majd onnan Münchenbe mentek, ahol 1853-ig (az osztrák–magyar viszonyokban bekövetkezett viszonylagos enyhülésig) maradtak. Itt fejezte be az apa egyik fontos művét, *A XIX. század uralkodó eszméinek befolyása az államra* címűt is. Ebben különösen érdekes a kommunizmussal foglalkozó rész, mintha prófétaként előre látta volna azt az időszakot, amikor Loránd fia meghalt:

„A lényeg, mire nézve a kommunizmus minden követője egyetért, abban áll, miszerint az állam céljaul a teljes egyenlőséget, s eszközül e célja érdekében az egyén föltétlen alárendelését az államnak tekintik. S miután az egyén teljes alávetése az állam hatalmának

csak úgy lehetséges, ha az államot korlátlan hatalommal ruházzuk fel, és mivel az általános egyenlőség elvét akkor lehet leginkább megközelíteni, ha az alól csupán egy személy van kivéve, következésképpen: hogy a despotizmus nemcsak ellentétben nincs a kommunizmus elveivel, sőt szükséges eredménye ennek, s oly forma, melynek elvei annak leginkább megfelelnek. Nem a kommunista elvek győzelme, hanem csupán az lehetetlen, hogy ezen elveket valaha más valósítsa, mint az abszolutizmus. S azért a kommunizmus győzelme mindenkor egyszersmind a despotizmusé leend. S viszont ha azon pártokra fordítjuk figyelmünket, melyek e veszélyek ellenében a társadalom megmentése körül fáradoznak: látni fogjuk, hogy ezek is, ha a küzdőtéren diadalmasan meg akarják állani, oly eszközökhöz kénytelenek folyamodni, melyek – hacsak e részben a történet régi tapasztalatai nem csalnak – szintúgy az abszolutizmus megalapításához vezetnek.” [2]

Érdekes megemlíteni a fiú születésekor anyakönyvezett nevét is: Báró Vásárosnaményi Eötvös Loránd Ágoston Ignác Albert József. Ennek azóta több változata is ismeretes. Maga Eötvös a Lórándot követő neveket nem használta, a Vásárosnaményi előtagot is ritkán; külföldön megjelent publikációiban pedig Roland Eötvös néven szerepelt. A Lóránd hosszú ó-ja nem elírás: Eötvös egész életében így használta, aláírásaiban is így szerepel. Azóta a magyar helyesírás szabályai változtak, ami miatt napjainkban például az egyetem neve is Eötvös Loránd Tudományegyetem. Az akkor éppen Magyar Királyi Pázmány Péter Tudományegyetemnek nevezett intézmény 1950-ben, a kommunista kormányzat nyomására változtatta meg az egyetem nevét Eötvös Loránd Tudományegyetemre.¹ Közderülség tárgyát képezte, hogy az antiklerikális kommunisták az érsek helyett éppen egy báróról engedték elnevezni az egyetemet, noha az arisztokráciát legalább annyira nem kedvelték, mint az egyházakat.

E cikk szerzője még első kézből hallotta barátai orvos nagyanyjától azt a történetet, amelyik egy vizsgán esett meg. A fizika-előadást akkoriban minden hallgatónak (medikusok, tanárjelöltek, gyógyszerészek, valamint bölcsészek – köztük fizikus-, kémikus-, geológus- és biológushallgatók) a fizika előadója, báró Eötvös Loránd tartotta. Egy medika a vizsgán Eötvöst professzor úrnak szólította, amire a következő választ kapta: kedves kollegina, ha gondolja, szólíthat akár Lóránd bácsinak is!

Halála előtt Eötvös Loránd nagyjából egy évig rákbetegséggel küzdött. A „nagy háborúban” kora miatt nem kellett részt vennie, de kedves hegymászó vidéke, a Cortinai Dolomitok – ami akkor Ausztria–Magyarország és Olaszország határa mentén volt – háborús terület lett, így nyári szabadságait sok év után a Tátrába helyezte át. Mivel 1905-ben, 57 éves korában



EÖTVÖS LORÁND, A KIVÁLÓ TERMÉSZETTUDÓS, A PROLETÁRSÁG HALOTTJA. — A TEMETÉSI MENET ELINDULÁSA A NEMZETI MÚZEUMÉL.

2. ábra. Eötvös temetési menetének elindulása a Nemzeti Múzeumból, *Vasárnapi Újság*, 1919. április 20.

visszavonult a közéletől, a háborús politikai életben sem vett részt, és a Tanácsköztársaság idején sem kellett semmilyen szerepet vállalnia. Ennek ellenére 1919. április 8-i halálát követően április 12-én a Nemzeti Múzeumban a Tanácsköztársaság „a proletárhatalom nagy halottjaként” (2. ábra) ravatalozta fel, gyászbeszédét *Lukács György* – akkor közoktatásügyi népbiztos – mondta. Érdekes megemlíteni az MTA 1929. május 12-i, Eötvös Loránd halálának 10. évfordulójára rendezett ünnepi ülésén *Fröblich Izidor* beszédének erre vonatkozó részletét:

„Bár az akkori alkotmány nélküli kormány őt a nemzet halottjának tekintette és őt a Nemzeti Múzeum oszlopcsarnokában közköltségen ravatalozta fel: a hatalmon lévő nem alkotmányos kormány mégsem engedte meg, hogy ravatalánál az Akadémia elnöksége szóhoz jusson.” [1]

A korra jellemző, hogy (nem sokkal halála előtt, április elsején) *Dávid Lajos* matematikusnak, a budapesti Tanárképző Főiskola tanárának Eötvös Lorándot, a tudóst méltató hosszabb írása jelenik meg az akkori idők vezető *irodalmi* folyóiratában, a *Nyugatban* [3]. Ebben elég részletesen, de egyben közérthetően kifejti Eötvös legfontosabb tudományos eredményeit. Az is a korszakhoz tartozik, hogy a Tanácsköztársaság idején a megszűnés veszélye fenyegette a *Nyugatot*, a kommunisták szerint „túlzott demokratizmusa miatt”, de erre már nem került sor. A tanácskormány bukása után megjelenő első számon már a megszálló román hadsereg cenzúrája látható, akik júliusban be is tiltják a lapot, ami csak novemberben, a románok Budapestről történő kivonulása után indulhat újra [4].

Tanulmányok és közéleti tevékenység

Eötvös Lorándot apja közéleti pályára szánta, ezért 1865-ben az egyetem jogi karára iratkozott be. Jogi tanulmányai mellett azonban a bölcsészkaron természettudományos tárgyakat is hallgatott, és *Than Károly* laboratóriumában kémiai kísérleteket is folyta-

¹ Újabb fricska, hogy a rendszerváltás után, 1991-ben – az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiltakozása ellenére – az 1953 óta Eötvös Loránd nevét viselő, az ELTE Jogtudományi Kara melletti utcát visszaváltoztatták az 1874-től 1927-ig viselt Papnövelde elnevezésre (a szerk.).



3. ábra. A heidelbergi német tudományosság egyik „központja”: a Vörös Ökörhöz (Gasthof zum Roten Ochsen) címzett kocsmá (németül: Kneipe). Az 1703-ban épült vendéglátóhely 1839 óta folyamatosan a Spengel-család tulajdonában van.

tott. Apja nagylelkűen támogatta ezirányú tanulmányait, és a könyvek beszerzését a természettudományok területén. Loránd azonban hamarosan belátta, hogy a jogi pálya nem neki való, valamint azt is, hogy kísérleti eszközök nélkül nehezen halad a tanulmányaiban. Erről tanúskodik 1866. március 28-án apjához írt levele:

„Miután beláttam, hogy a jogtanulmányok elmulasztása, ha fentemlített nézetem mellett megmaradok, csak félszeggé tenne, ha pedig más pályát választanék, az elé akadályt gördítene, e gondolattal, melynek megvallom sokáig rabja voltam, felhagytam; de csak megerősödtem azon véleményemben, hogy a természettudományokat, tekintetbe véve azoknak jelen terjedelmét, csak két esztendőre félrevetni, rám nézve nagy hátrány lenne. Jól tudom, hogy Te nem kívánod; sőt a könyvek által, melyeket nekem ajándékozol, magad segítsz előre; de képes vagyok-e én egyedül azokból tanulni?”

Tanulom az ásványtant és nem ismerek ásványt; tanulom a geológiát és a legegyszerűbb formációnál kétségben vagyok; tanulom az állattant állat, a növénytant növény nélkül, egyszóval, a természettudományt, természet nélkül. E bajon, külföldi egyetemen, jó tanárok vezetése alatt, úgy hiszem, segítené.” [1]

Ennek következtében Than Károly javaslatára 1867-ben már a Heidelbergi Egyetemen folytat tanulmányokat, ahol fizikát *Kirchhoff*tól és *Helmholtz*tól, kémiát *Bunsen*től, matematikát *Königsbergertől* és *Hessétől* tanul [5]. Érdekes körülmény az is, hogy a kísérletezés módszereinek elsajátítása érdekében *Kirchhoff* Königsbergbe, *Franz Neumannhoz* küldi. Apjának beszámol erről a választásáról egy 1869. január 30-án írott levélben:

„Amit a jövő érdekében tanulni akarok, az először, miként kell experimentálni, jobban mondva, miként kell a kérdést felállítani úgy, hogy reá a természet megfelelhessen? És másodsor, mi módon lehet az így

nyert feleleteket egyszerű törvényekre visszavezetni. A nagy mester, kitől ezeket legjobban lehet tanulni, Neumann Königsbergben, s ezért szándékom jövőre odamenni.” [7]

Ezzel kapcsolatos reményei ugyan nem válnak be, mivel az ottani oktatást túlságosan „metafizikusnak” (mai szóhasználatunkkal elméletinek) tartja, ezért csak egy félévet tölt Königsbergben. A félév második részében rájön arra, hogy szemináriumokra kell eljárni, és ott megértheti az előadásokon elhangzottakat. Azért kísérletekről is tanulhatott ott, mert a későbbiekben említendő felületfeszültség-mérések módszerét éppen Neumann hatására gondolta ki és annak szemináriumában ismertette először [6]. Visszatért tehát Heidelbergbe, hogy ott befejezze tanulmányait. Apjának 1896. november 6-án írt leveléből kiderül, hogy ott jól érezte magát a régi ismerősök között. A tudományos élettel is nagyon elégedett volt, az erről alkotott igen érdekes véleményét (3. ábra) az alábbi levélben részletesen kifejtette:

„Jól érzem magam újra Heidelbergben, fiatal ismerősök társaságában. Hetenként szombaton jó össze az úgynevezett »physikalischer Verein«, hol mérsékeltén söröznek, de mértéktelenül énekelnek. ... Jobb részét annak, amit tudok, a magamféle emberekkel való tudományos beszélgetés által tanultam, mert végre, előbb-utóbb vita keletkezik és kényszeríti az embert erejét összeszedni és tárgyát önállóan áttekinteni.

...Már többször mondtam és teljesen meg vagyok győződve arról, hogy a német tudományosság a német »Kneipe« nélkül nem létezhetnék. Bizonyára nem egy nagy eszme sör mellett született meg, és alkotójától eleinte jó élcnek vagy tréfának volt szánva. Ezért ajánlom, hogy aki a német tudományos életet és a német »Kneipe«-t meg akarja ismerni, az jöjjön Heidelbergbe, itt elég magyar fiatalember van; így *Helmholtz*-nak hét magyar hallgatója van, de nem mind-egyik természettudós: van közte egy teológus is.”

Tanulmányai befejezésekképpen 1870-ben tette le bölcsészdoktori szigorlatát természettan főtárgyból *Gustav Kirchhoff*, matematika melléktárgyból *Leo Königsberger*, és kémia melléktárgyból *Robert Bunsen* vizsgáztatók előtt. Doktori disszertációja a fényforrások relatív mozgását tanulmányozó *Fizeau*-kísérlet elméleti vizsgálatáról szólt – amit később a Budapesti Egyetemen elfogadtak habilitációs munkának is. Doktori diplomájának minősítése *summa cum laude*, ami egy apjának írott levél tanúsága szerint nem volt gyakori a Heidelbergi Egyetemen; 1870-ben rajta kívül csak egy másik magyar, *König Gyula* matematikus kapott ilyen minősítésű doktori oklevelet [1].

Hazatérte után nagyon szerencsésen haladt előre a tudományos közéletben. Az 1. táblázat tartalmaz néhány fontos eseményt, valamint azt az életkort, amikor ez történt. Tudatában volt annak, hogy – tehetsége és tudományos eredményei mellett – ezt a gyors előrehaladást apja, *Eötvös József* tekintélyének köszönheti. (Nem személyes befolyásának, mivel apja 1871-ben, amikor Loránd 23 éves volt elhunyt.) Egész életében ezért arra törekedett, hogy olyan tehetséges

1. táblázat

Néhány esemény Eötvös Loránd életéből, életkorának feltüntetésével.

életkor (év)	esemény
23	egyetemi magántanár
24	rendes egyetemi tanár
25	akadémiai levelező tag
30	tanszékvezető (élete végéig)
35	akadémiai rendes tag
41	az akadémia elnöke (16 évig)
43	az egyetem rektora (1 évig)
46	miniszter (7 hónapig)
47	visszatér az egyetemre
57	visszavonul a közéletől (ingamérések)
71	halála

személyek, akiknek származásuk okán nem adatott meg a lehetőség, hogy az ő életútját követhessék, mégse szenvedjenek hátrányt emiatt. 1895-ben, minisztersége idején javasolta a Bárány Eötvös József Collégium megalapítását, amely a Budapesti Tudományegyetem tanárszakos hallgatóinak internátusa volt. Az intézmény az akkor már 101 éves párizsi École Normale Supérieure mintájára kiváló képzést is nyújtott az ott lakó hallgatóknak. Első igazgatója Eötvös Loránd fizikus kollégája, *Bartoniek Géza* volt – akit a bentlakó hallgatók egyszerűen „Bégé úr” néven emlegettek. A Collégium (az 1950 és 1989 közötti kihagyástól eltekintve) azóta is töretlenül neveli a tehetséges hallgatókat jelmondatának megfelelően: szabadon szolgál a szellem.

A Magyar Tudományos Akadémia elnökeként is fontos tevékenységet folytatott. Ezt a megbízását 16 éven keresztül folytatta, amikor lemondott a tisztségről. Az akkori idők légkörét jellemzi a lemondásáról szóló egyik karcolat, amelynek írója *Cholnoky Viktor*, a nagy földrajztudós *Cholnoky Jenő* öccse. A *bét* című politikai és irodalmi szemlében megjelent írás néhány részletét idézzük:

„Mivel a tekintélyek közül az áltudomány az egyetlen, amely nem ismer semmiféle csodát, tehát tökéletes és befejezett csoda, hogy Eötvös Loránd báró csak most mondott le a tudományos Akadémia elnöki tisztségéről...”

Eötvös Loránd, a vízcsepp kutatója sohasem tudott [egy vízcseppet csak] vízcseppnek látni. Láta ... hogy ez a víz nem csupán H_2O , hanem egy csomó baktérium is. Egy csomó élősd. Akik ott benn a Magyar Tudományos Akadémiában – akarom mondani a vízcseppben, egymást falják fel, sőt esetleg a pályadíjakat is elnyerik egymás elől, de akár így, akár úgy cselekszenek, mindenképpen élősdiek... Vigasztaló ellenben az, hogy az igazi tudásnak még a Magyar Tudományos Akadémia sem árt.” [8]

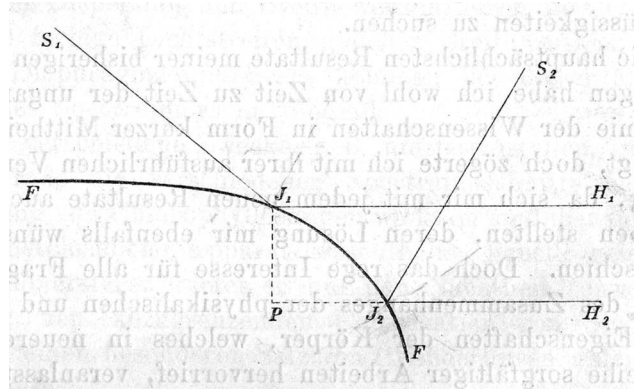
Eötvös akadémiai elnöksége alatt sem volt elégedett a magyar tudományos közélettel. Fellendítette a Természettudományi Társulat munkáját, 1891-ben pedig többedmagával megalapította a Matematikai és Fizikai Társulatot és elindította annak folyóiratát, a *Mathematikai és Fizikai Lapokat* (ami a *Fizikai Szemle* elődje). 1894-ben elindította az országos tanulmányi versenyeket matematikából és fizikából, amit később róla neveztek el Eötvös-versenynek. Tervei szerint és az ő irányítása mellett épült fel 1883 és 1886 között az egyetem új fizikai intézete az Eszterházy (ma: Puskin) utcában. (Pestlőrinci villájából az új fizikai intézetbe lóháton járt be. Lovát az intézethez közeli Nemzeti Lovarda épületében hagyta, amíg visza nem indult [9].)

Felületi feszültség vizsgálata és az Eötvös-szabály

Eötvös az egyetemi fizikatanítás mellett intenzív tudományos tevékenységet is folytatott. Kísérleteit folyadékok kritikus állapotának vizsgálatával kezdte, azonban ezen kísérletek üvegedényben igen veszélyesek voltak, ezért hamarosan áttért a felületi feszültség vizsgálatára, aminek megbízható eredményekre vezető módszerét még königsbergi tanulmányai során dolgozta ki. Az alkalmazott módszerről először 1876-ban számolt be magyar folyóiratban [10], majd a mintegy tíz éves rendszeres tanulmányairól és azok alapos elemzésének eredményéről 1886-ban, a tématerület vezető német folyóiratában [11]. A módszer szemléltetését utóbbi közleményéből másolva a 4. ábrán mutatjuk be.

A felületi feszültség pontos meghatározását folyadékok felületének a folyadék-szilárd határfelülethez közeli görbülete teszi lehetővé. Ez a görbület pedig az S_1 és S_2 irányoknak olyan módon történő beállításával mérhető egyszerűen, hogy a két beeső fénysugár a H_1 és H_2 irányban éppen párhuzamosan (és vízszintesen) verődjön vissza a felületről. A beeső sugarak vízszintessel bezárt szögét, valamint a kilépő fénysugarak távolságát pontosan megmérve – az ismert összefüggések alapján – kiszámítható a felület görbülete, abból pedig a felületi feszültség. Ennek az akkoriban

4. ábra. Eötvös Loránd ábrája a felületi feszültség mérésének elvéről az *Annalen der Physik und Chemie* 1886-os kötetében.



2. táblázat

Eötvös Loránd eredeti adatai a k Eötvös-állandó értékéről különböző folyadékokban [11].

folyadék	hőmérséklet-tartomány (°C)	Eötvös-állandó*
dietyl-éter	6–62	0,228
	62–120	0,226
	120–190	0,221
etilén-bromid	20–99	0,227
	99–213	0,232
kloroform	20–60	0,230
metil-higany	20–99	0,228
karbonil-klorid	3–63	0,231
széndioxid	3–31	0,228
víz	3–40	0,159
	40–100	0,180
	100–150	0,228
	150–210	0,227
ecetsav	21–107	0,132
	107–160	0,132
	160–230	0,138

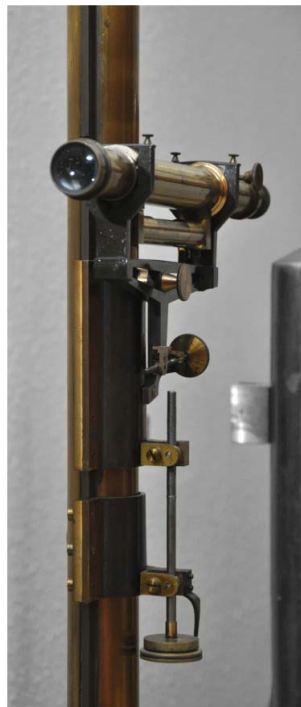
* Az állandó milligrammsúly $\text{mm K}^{-1} \text{mol}^{-2/3}$ egységben van megadva ($1 \text{ mgsúly mm K}^{-1} \text{mol}^{-2/3} = 9,80665 \cdot 10^{-7} \text{ J K}^{-1} \text{mol}^{-2/3}$).

használt módszerekkel szemben több előnye is volt. Egyrészt a reflexiós módszer eredménye független attól, hogy a folyadék mennyire nedvesíti az edény falát. Másrészt Eötvös a folyadékot addig párologtatta, amíg az kiszorította a levegőt a gőztérből, ezt követően pedig leforrasztotta az üvegedényt (általában csövet). A csőben így igen hosszú ideig változatlan volt a felületi feszültség, mivel az nem szennyeződött a levegőből. A leforrasztott csőben a hőmérsékletet is egyszerűen lehetett változtatni, így a felületi feszültség a forráspontonál lényegesen magasabb hőmérsékleten is mérhető volt – meg lehetett közelíteni a kritikus hőmérsékletet is.

Mindezek miatt a mérések – a korábbinál nagyobb pontosság mellett – egyrészt bizonyították, hogy a felületi feszültség időben állandó, másrészt korábban soha nem látott széles hőmérséklet-tartományban tették lehetővé a hőmérsékletfüggés mérését. A kapott adatok elemzésével jutott el Eötvös a később róla Eötvös-szabálynak nevezett összefüggéshez:

$$\gamma V_m^{2/3} = k(T_0 - T).$$

A képletben γ a felületi feszültség T hőmérsékleten, V_m a moláris térfogat, T_0 pedig az a hőmérséklet, amelynél a felületi feszültség zérusra csökken. (Eötvös szerint ez jó közelítéssel a kritikus hőmérséklet.) A képlet jelentése akkor érthető könnyen, ha azt az ideális gázok állapotegyenletének $pV_m = RT$ alakjához hasonlítjuk. Ez utóbbi egy *háromdimenziós* állapotegyenlet, ami a háromdimenziós gázra érvényes. Az Eötvös-szabály a *kétdimenziós* felületre érvényes. Ennek megfelelően a háromdimenziós p nyomás helyett a kétdimenziós γ felületi feszültség szerepel ben-



5. ábra. Teodolit, Eötvös Loránd felületfeszültség-mérő eszköze.

ne, a V_m háromdimenziós moláris térfogat helyett pedig a $V_m^{2/3}$ mennyiség, ami a „moláris felület”, azaz egy mól felületi molekula által lefedett felület. Az R általános gázállandó szerepét a két dimenzióban érvényes k Eötvös-állandó veszi át. A T hőmérséklet helyett a $T_0 - T$ különbség pedig azért szerepel benne, mert a kritikus T_0 hőmérséklet felett már nem létezik folyadékfázis, azaz a felületi feszültség értéke ott zérusra csökken. (Azóta kiderült, hogy folyadékoktól függően már 3-6 fokkal előbb nagyon megközelíti a zérus értéket, de ez csak egy apró korrekció: T_0 értékét változtatja meg a kritikus hőmérséklethez képest.) A 2. táblázatban Eötvös 1886-os, különböző folyadékok k értékére vonatkozó eredményeit, illetve az 5. ábrán a mérésekhez használt, az Eötvös Loránd Emlékmúzeumban látható teodolitot mutatjuk be.

Eötvös arra is rájött, hogy mi az oka annak, ha a k állandó eltér a táblázat elején található egyszerű folyadékokra kapott értéktől (ami körülbelül 0,227; SI egységekben kifejezve körülbelül $2,23 \cdot 10^{-7} \text{ J K}^{-1} \text{mol}^{-2/3}$). A táblázatból látható, hogy ez vízre az olvadásponthoz közelebb 0,159, míg a forrásponthoz közelebb 0,180; ecetsav esetében pedig elég nagy hőmérséklet-tartományban 0,132. A moláris térfogatot a moláris tömeget a sűrűséggel elosztva számíthatjuk ki. Ha az olvadásponthoz közeli vízre vagy 160 °C-ig az ecetsavra úgy számolunk, hogy a moláris tömeget egy víz-, illetve ecetsav-dimerre adjuk meg, akkor ezekre is kijön a 0,227-es eredmény a k állandó értékére. Ez azt jelenti, hogy ebben a hőmérséklet-tartományban mind a víz, mind pedig az ecetsav két molekulája asszociálódik a folyadékban, azaz ott a monomer molekula tömegének kétszerese a molekulatömeg, így a molekulák csak fele akkora helyet foglalnak el a folyadék felszínén, mintha monomer formájában léteznének a folyadékban. A víz hőmérséklettel változó k értéke pedig azt tükrözi, hogy a forráspont feletti hőmérsékleten a folyadékban már nincs jelentősebb mértékű asszociáció. Az ecetsav esetében az asszociáció nem teljes mértékben szűnik meg a hőmérséklet emelkedésével, de 160 °C felett már vannak monomer molekulák is a folyadékban.

Eötvös eredményei alapján tehát akár ismeretlen folyadékok moláris tömegét is kiszámíthatjuk, ha a hőmérséklet függvényében – elgendően nagy hőmér-

séklet-tartományban – meghatározzuk a felületi feszültségüket. Ismert folyadékok esetén pedig információt kaphatunk a molekulák esetleges asszociációjának mértékére. Azóta az is kiderült, hogy nemcsak kisebb k értékek léteznek, hanem a 0,227-nél sokkal nagyobbak is. A glicerín-trisztearát esetén ez elég széles hőmérséklet-tartományban 0,6 körüli érték; ennek magyarázata az, hogy a hosszú molekula nem „fekszik fel” a felületre, hanem egy kefe szőreihez hasonlóan csak kis része (az észterkötés felőli vége) van a folyadék felszínén, a hosszú szénláncok pedig „kilógnak”, így a molekula felületigénye a folyadék felszínén az egész molekula felületének csak töredéke.

Érdemes itt azt is megjegyezni, hogy Eötvös fényugarak reflexióján, illetve ezen keresztül a görbület mérésén alapuló felületfeszültség-meghatározási módszerét a róla elnevezett egyetem Fizikai Kémiai Tanszékén manapság is alkalmazzák. A fényelhajlást vékony elektródlemezek egyik oldalára leválasztott anyagok felületfeszültség-változásának nyomkövetésére használják. Függő cseppek alakjának számítógépes képiértékelésével kapott görbület meghatározásából pedig egyszerűen számíthatnak felületi feszültséget [12–14].

Eötvös eredményei a gravitáció területén

Eötvös felületi feszültséggel kapcsolatos eredményei nagyon jelentősek voltak a maga korában, és amint fentebb írtuk, a kétdimenziós folyadék-állapotegyenletet is róla nevezték el. A tudományos közösség azonban főleg gravitációval kapcsolatos eredményei alapján tartja őt számon. Az eredmények részletezése nélkül említjük itt azt az elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt fontos felfedezését, hogy a torziós inga (más néven torziós mérleg) általa jelentősen továbbfejlesztett változatával sikerült a nehézségi gyorsulást 9 tizedesjegy pontossággal meghatározni. Ez akkora érzékenységgel felel meg, amely a torziós inga közelében elhelyezkedő tömeg néhány kilogrammos változását is képes pontosan érzékelni. Eötvös méréseinek pontosságát csak 1963-ban sikerült körülbelül 50-szeresével (plusz két tizedesjeggyel) növelni [15]. Amikor a Göttingeni Királyi Tudományos Társaság 1906-ban meghirdette a Benecke Alapítvány pályázati kiírását a gravitációs mérések pontosságának növelésére, azt az Eötvös és munkatársai által végzett mérések leírását tartalmazó pályamunka – a 3400 márka pályadíjjal együtt – nyerte el. Az elvégzett munka során olyan pontossággal igazolták a súlyos (tömegvonzásból adódó) és tehetetlen (adott erő hatására történő gyorsulásból adódó) tömeg azonosságát, ami megegyezett az akkor elérhető legnagyobb tömegmérési pontossággal [16]. Ez az eredmény kísérletileg is megalapozta Einstein 1915-ben felfedezett általános relativitáselméletét [17].

A kifejlesztett igen pontos eszköz és a mérések kiértékeléséhez szükséges elméleti módszerek részletes kidolgozása után lehetővé vált a gravitációs állan-

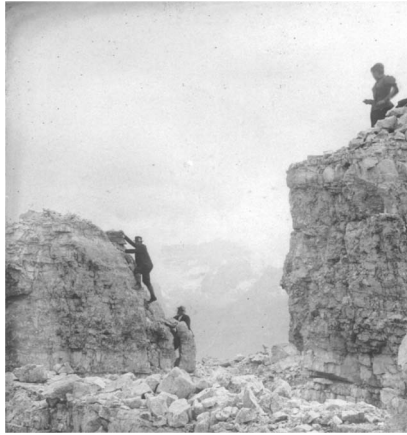


6. ábra. Az Eötvös-féle torziós inga egyik változata, a kettős inga (ennek két kivételéről a *Fizikai Szemle* 2019/6 és 2019/9 számában írtunk részletesebben – a szerk.).

dó, valamint a földi nehézségi gyorsulás igen pontos meghatározása. Ez a pontosság lehetővé tette azt is, hogy a Föld felszínén 1 m-nél kisebb felbontással lehetett meghatározni a nehézségi gyorsulás változását, amelynek oka a Föld mélyében rejlő egyenetlen tömegeloszlás. Ha egy adott területen jelentősen kisebb a nehézségi gyorsulás, mint körülötte, akkor ott kőolaj, illetve földgázkészletek lehetnek a föld alatt. Ha viszont nagyobb a nehézségi gyorsulás a környezetben mértnél, akkor ott nehezebb kőzetek (például kőso vagy fémérc) lehetnek a föld alatt. Emiatt az Eötvös-féle torziós inga² (6. ábra) felfedezése óta jelentős szerepet tölt be a nyersanyagkutatásban.

Mivel Eötvös eredményei alapján a nehézségi gyorsulás irány menti változásának mérésére is lehetőség nyílt, ezért annak egységét is róla nevezték el. A gravitációs gyorsulás SI mértékegysége a ms^{-2} ; ennek távolság szerinti változását pedig a távolsággal osztott mértékegység, azaz s^{-2} adja meg. A Föld felszínén jól mérhető különbségek ennél sokkal kisebbek; ezek jellemzésére szolgál az 1 Eötvös = 10^{-9}s^{-2} . (Az egység rövidítése: E.) A legnagyobb mérhető különbségek magas hegyekben fordulnak elő; ezek értéke elérheti a néhány száz Eötvös értéket.

² Az Eötvös-ingával, működési elvvel, módozataival, gyakorlati felhasználásaival és elvi jelentőségével idén jőpár írás foglalkozott a *Fizika Szemlében* (a szerk.).



7. *ábra.* Eötvös lányaival – akik örökölték apjuk, sőt nagyapjuk szenvedélyét és egészen kiváló hegyászok voltak – gyakran túrázott a Dolomitokban. Az ott készült felvételek üvegnegatívjai a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Országos Geofizikai Szakkönyvtárában találhatóak.

Eötvös egyik utolsó, gravitációval kapcsolatos eredménye az azóta róla elnevezett Eötvös-effektus felfedezése, amit először a tengeri hajókon végzett gravitációs gyorsulás-mérések elemzésével bizonyított. Ennek lényege, hogy a Földön a kelet felé haladó testek súlya csökken, a nyugat felé haladóké nő a nyugvó helyzethez képest. A jelenség magyarázata pedig az, hogy a gravitációs gyorsulás mérhető értéke a Föld vonzása és a centripetális gyorsulás eredőjeként áll elő. A Föld nyugatról kelet felé forog, ha ezzel szemben, keletről nyugat felé mozog egy test, akkor a centripetális erő kevésbé csökkenti a Föld vonzását,

azaz súlya nagyobb lesz, mint nyugvó esetben. A hatás nyugatról kelet felé mozgás közben pont ellentétes, a centripetális erő jobban csökkenti a Föld vonzását. E jelenség egyszerű kísérleti bemutatására Eötvös nagyon szellemes berendezést épített, amit Eötvös-mérlegnek nevezünk. Ez egy olyan mérleg, amelynek karjain viszonylag nagy, egyenlő tömegű súlyok vannak. Álló helyzetben a mérleg éppen ki van egyensúlyozva. Ha a mérleget egy forgó alaplzatra helyezük és olyan körfrekvenciával forgatjuk, ami éppen megegyezik a mérleg lengési idejével, akkor a mérleg mozgása úgy áll be, hogy akkor mozog az egyik súly fölfelé, amikor az éppen keletről nyugati irányba mozdul (azaz könnyebb), miközben a másik súly nyugatról keletre mozogva nehezebb, mint állva. A megfelelő forgási frekvencia beállítása esetén így a mérleg addig fog növekvő amplitúdóval fordulatoként egyet lengeni, amíg a felfüggesztés és a légellenállás okozta csillapítás éppen egyenlő lesz a forgás okozta lengést növelő hatással. Az erről szóló közleményt Eötvös Loránd már a halálos ágyán írta; az csak posztumusz, munkatársai szerkesztői közreműködésével jelenhetett meg [18].

Eötvös sportteljesítményei

Eötvös Loránd lelkes természetjáró volt. Legkedveltebb kirándulóhelye a Dolomitok, ahol 16 éves korától az I. világháború kitöréséig szinte minden nyáron hosszabb időt töltött. Amikor *Rolanda* és *Ilona* lányai felnőttek, hármásban jártak oda hegyet mászni. Eötvös, ki fényképésznek is kiváló volt, ezeket is megörökítette (7. *ábra*). A tudományos közélet mellett nemcsak politikai szerepet vállalt (kulturális miniszter), hanem nagyon aktív szerepe volt a magyar turistaélet szervezeti háttérének megteremtésében is. Többek között a Magyar Kárpát Egyesület Budapesti Osztályát is elnökölte. Egyik elnöki beszédében kifejti „hitvallását” a turizmusról:

„Turista az, a ki útra kel azért, mert foglalkozásának egyformasága, gondjainak sokasága közepett álmaiban feltűnik előtte egy olyan szebb világ, melyben zöldebb a fű, kékebb az ég, magasabbak a hegyek, szebbek vagy különösebbek a házak, barátságosabbak az emberek, s a ki ez álomkép eredetijét fárad-



8. *ábra.* Az Eötvös-csúcs (Cima di Eötvös; 2837 m) a Cortinai Dolomitok Cadini di Misurina heggyvonulatán.

ságtól vissza nem riadva keresi – keresi, s mert hiszen e földön élünk, talán soha meg nem találja, de azért jó kedvét el nem veszti, hiszen örömét éppen ez a keresés teszi.” [19]

Nagyon eredményes hegyászói tevékenységét földrajzi nevek is őrzik, például az Északi Dolomitokban egy 2837 m magas csúcs, a Cima di Eötvös (8. *ábra*), illetve a Déli Dolomitokban a Croda da Lago heggyvonulat déli oldalán egy völgy, a Forcella di Eötvös. A leggyakoribb talliumásvány felfedezője, *Krenner József* mineralógus (Eötvös egyik fiatalkori nevelője) 1896-ban az ásványt Eötvös Loránd tiszteletére Loránditnak nevezte (összetétele: $TlAsS_2$).

A hegyászó Eötvös – annak ellenére, hogy nem volt robusztus felépítése – a Tiroli hegyekben szívós, nagy erejű és kitartó embernek számított. Sporthoz való viszonyáról árulkodik az is, hogy az idén alapításának 120. évfordulóját ünneplő BEAC sportklub első elnöke is ő volt. Amint korábban írtuk, pestlőrinci nyaralójából az egyetemre lovon járt be (9. *ábra*). Lovát ilyenkor abban a Nemzeti Lovardában hagyta, amelynek ő is tagja volt. Lányjaival együtt kerékpározni is szerettek. Többször előfordult, hogy valamely munkatársával az egyetemről kora délután biciklikörútra indultak, néha egészen Budatétényig kerekézve, majd onnan visszatértek a munkába. Egy alkalommal két lányával egészen az Alpokig, Schluderbachig bicikliztek, igaz, nem Budapesttől, mert a túlzott anyai féltés miatt ártatlan vonatútnak álcázták a kalandot. Fehérváron – ahová titokban előreküldték a bicikliket – viszont leszálltak és onnan indultak a bő 600 kilométeres túrára [9].

Azt hiszem Eötvös Loránd igazán megvalósította az antik költő, Iuvenalis eszményét: *mens sana in corpore sano*.³

³ A latin mondat jelentése: egészséges testben egészséges szellem. Szokásos magyar változata: ép testben ép lélek.



9. *ábra.* Eötvös Loránd a Szent István Társulat székháza – jelenleg a Pázmány Péter Katolikus Egyetem Jog- és Államtudományi Kara, VIII. kerület, Szentkirályi utca 28–30. – előtt.

Irodalom

- Fröhlich I.: *Báró Eötvös Loránd emlékezete.* (1929), elérhető: <http://mek.oszk.hu/02000/02054/html/eotv9.html>
- Eötvös J.: *A XIX. század uralkodó eszméinek befolyása az államra.* (1849); újabb kiadása: Szépirodalmi Kiadó (1981), elérhető: <http://mek.oszk.hu/06600/06619/html/01.htm#49>
- Dávid L.: Eötvös Loránd. *Nyugat* XII/7, 1919. április 1.
- https://nyugat.oszk.hu/html/szakirodalom_kronologia.htm
- Kovács, L.: *Eötvös Loránd, a tudós-tanár.* Studia Physica Savaresi VIII (2001).
- Tangl K.: Vizsgálatok a kapillaritásról. A *Matematikai és Fizikai Lapok* Báró Eötvös Loránd Füzete (1918).
- Károlyházy F.: Hungariae gentis decus. *Fizikai Szemle* 48/12 (1998) 397.
- Ch. V.: Eötvös Loránd báró. *A hét* XXV/42 (1905) 682–683.
- Kiss D. D.: *A természetszerető Eötvös Loránd; levéltári és kézírattári kutatások.* Magyar Tudománytörténeti és Egészségtudományi Intézet, Budapest (2017).
- Eötvös L.: Új módszer a capillaritási tünetmények tanulmányozására. *Műegyetemi Lapok* (1876/1) 2–10.
- Eötvös, R.: Ueber den Zusammenhang der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten mit ihrem Molekularvolumen. *Annalen der Physik und Chemie* 27 (1886) 448–459.
- Rokob, T. A., Láng, G. G.: Remarks on the electrochemical application of optical methods for the determination of stress in electrodes. *Electrochimica Acta* 51 (2005) 93–97.
- Láng, G. G.: Interface Stress Measurements in an Electrochemical Environment. In: Klaus, Wandelt (szerk.) *Encyclopedia of Interfacial Chemistry Surface Science and Electrochemistry.* 1st Edition, Elsevier, New York, Amsterdam, London, Tokyo (2018) 95–206.
- Varga I., Keszthelyi T., Mészáros R., Hakkel O., Gilányi T.: Adsorption of Sodium Alkyl Sulfate Homologues at the Air/Solution Interface. *J. Phys. Chem. B* 109 (2005) 872–878.
- Roll, P. G., Krotkov R., Dicke R. H.: The Equivalence of Inertial and Passive Gravitational Mass. *Annals of Physics* 26 (1964) 442–517.
- v. Eötvös, R., Pekár, D., Fekete, J.: Beiträge zum Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität. *Ann. Phys.* 373 (1922) 11–66.
- Einstein, A.: Zur allgemeinen Relativitätstheorie. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften* (Berlin) (1905) 778–786.
- Eötvös, R.: Experimenteller Nachweis der Schweränderung die ein auf normal geformter Erdoberfläche in östlicher oder westlicher Richtung bewegter Körper durch diese Bewegung erleidet. *Annalen der Physik* 59 (1919) 743–752.
- Eötvös Loránd elnöki megnyitó beszéde a Magyar Kárpát Egyesület Budapesti Osztályának 1891. február 14-i ülésén. Idézi [9]; megjelent a *Herkules* című újság 1891. évi 9. (máj. 1.) számában.