

Keszei Ernő

■ ELTE TTK Kémiai Intézet | keszei@chem.elte.hu

Egy magyar tudós
két háború között

Báró Eötvös Loránd élete és munkássága

Bevezetés

Ez év április 8-án éppen 100 éve annak, hogy Eötvös Loránd eltávozott az élők sorából. Ebben a cikkben ennek az évfordulónak a 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 honvéd 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 elveszítette területének több mint kétharmadát, és lakosságának jelentős részét is. 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 nem lehetséges emlékezni az egyik legnagyobb magyar tudósra anélkül, hogy tudományos teljesítményéről szó ne esne. A cikkben elsősorban a kémiai szempontból különösen érdekes, felületi feszültséggel kapcsolatos vizsgálatairól és az azokból levont Eötvös-szabályról lesz részletesebben 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 Lorándnak, az akkor Heidelbergben tanuló ifjúnak 20. születésnapjára írt apja: „Ma töltöd be huszadik évedet. A nap, melyen születted, élted 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 minisztertanácsshoz szólított. Sohasem szenvedtem többet, mint ezekben az órákban; míg hajnalfelé Balassa tudtomra adá, hogy anyád veszélyen kívül van; s őt megcsókolva, a városba lesiettem.” (Idézi: [1])

A kormány szeptember 23-i lemondása után Eötvös József ki-



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

utazott 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 az a rész, amelyben a kommunizmussal foglalkozik. 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 céljául 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, következik: 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 mindenkör 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 küzdött diadalmasan meg akarják állani, oly eszközökhöz kénytelenek folyamodni, melyek – hacsak e részben a történet régi tapasztalatai nem csálnak – szintúgy az abszolutizmus megalapításához vezetnek.” [2]

Érdekes megemlíteni a fiú születésekor anyakönyvezett nevét is: Báró Vásárosnaményi Eötvös Lóránd 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 pl. 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. Közderültség tárgyát képezte, hogy az antiklerikális kommunizmus 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, amely egy vizsgán esett meg. A fizika-előadást akkoriban minden hallgatónak (medikusok, tanárjelöltek, gyógyszerészek, valamint bölcsezsékek – köztük fizikus-, kémikus-, geológus- és biológushallgatók számára) 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 sok év után nyári szabadságait a Tátrába helyezte át. Mivel 1905-ben, 57 éves korában visszavonult a közelettől, 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” ravatalozta fel, gyászbeszédét pedig Lukács György – akkor közoktatásügyi népbiztos – mondta. Érdekes megemlíteni az MTA 1929. május 12-i, Eötvös Loránd halálának 10. évfordulójára rendezett ünnepi ülésén Fröhlich Izidor beszédének erre vonatkozó részletét: „Bár az akkori alkotmány nélküli kormányt a nemzet halottjának tekintette és őt a Nemzeti Múzeum oszlopcarnokában közköltségen ravatalozta fel: a hatalmon lévő nem alkotmányos kormány mégsem engedte meg, hogy ravatalozásánál az Akadémia elnöksége szóhoz jusson.” [1]

A korra jellemző, hogy (nem sokkal halála előtt, április elsején) megjelenik róla az akkori idők vezető *irodalmi* folyóiratában, a *Nyugat*ban Dávid Lajos matematikusnak, a budapesti Tanárképző Főiskola tanárának egy hosszabb írása, amelyben méltatja Eötvös Lorándot, a tudóst. [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 hallgatott, és Than Károly laboratóriumában kémiai kísérleteket folytatott. Apja nagylelkűen támogatta ez irányú tanulmányait, és 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 tanulmányiban. Erről tanuskodik 1866. március 28-án apjához írt levele: „Mittől beláttam, hogy a jogtanulmányok elmulasztása, ha fentemlített nézetem mellett megmaradok, csak félszeggé tenne, ha pedig más pályát választanék, az elé akadályt gördítene, e gondlattal, melynek megvallalom, 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 ajánldeközol, 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, a növénytant növény nélkül, egyszerűen, a természettudományt, természet nélkül. E bajon, külföldi egyetemen, jó tanárok vezetése alatt, úgy hiszem, segítve lenne.” (Idézi: [1])

Ennek következtében Than Károly javaslatára 1867-ben már a Heidelbergi Egyetemen folytat tanulmányokat, ahol fizikát Kirchhofftól és Helmholtztól, kémiát Bunsentől, matematikát Königsbergertől és Hessétől tanul. [5] Érdekes körülmény az is, hogy a kísérletezés módszereinek elsajátítása érdekében Kirchhoff Königsbergbe küldi, Franz Neumannhoz. 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.” (Idézi: [7])

Ezzel kapcsolatos reményei ugyan nem válnak be, mivel az ot-tani oktatást túlságosan „metafizikusnak” (mai szóhasználattal elméletinek) tartja, ezért csak egy félévet tölt Königsbergben. A félév második felében rájön arra, hogy szemináriumokra kell eljárni, és ott megértheti az előadáson 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, és igen érdekes véleménye volt erről, amit ebben a levelében részletesen kifejtett: „Jól érzem magam újra Heidelbergben, fiatal ismerősök társaságában. Hetenként szombaton jó össze az úgynevezett „physikalischer Verein”, hol mérsékelten söröznek, de mértéktelenül énekelnek. ... Jobb részét annak, amit tudok, a magamféle emberekkel való tudomá-



nyos beszélgetés által tanultam, mert végre, előbb-utóbb vita keletkezik és kényszeríti az embert erejét összeszedni és tárgyat önállóan áttekinteni...”

„Már többször mondtam és teljesen meg vagyok győződve arról, hogy a német tudományosság a német „Kneipe” (2. ábra) nélkül nem létezhetnék. Bizonyára nem egy nagy eszme sör mellett született meg, és alkotójától eleinte jó élcnek vagy tréfának volt szána. 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 mindegyik természettudós: van köztük egy teológus is.”



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

Tanulmányai befejezésekképpen 1870-ben letette bölcsészdoktori szigorlatát természettan fő tárgyból 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 elhunyt, amikor Loránd 23 éves volt.) Egész életében törekedett ezért arra, hogy olyan tehetséges személyek, akiknek nem adott meg származásuk miatt a lehetőség, hogy az ő életútját követhessék, mégse szenvedjenek hátrányt emiatt. 1895-ben, minisztersége idején javasolta a Bárány Eötvös József Collegium megalapítását, amely a budapesti tudományegyetem tanárszakos hallgatóinak internátusa volt. Az intézmény a 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 Collegium (egy kis kihagyástól eltekintve 1950 és 1989 között) azóta is töretlenül neveli a tehetséges hallgatókat jelmondatának megfelelően: szabadon szolgál a szellem.

1. táblázat. Néhány esemény Eötvös Loránd életéből, életkorának feltüntetésével

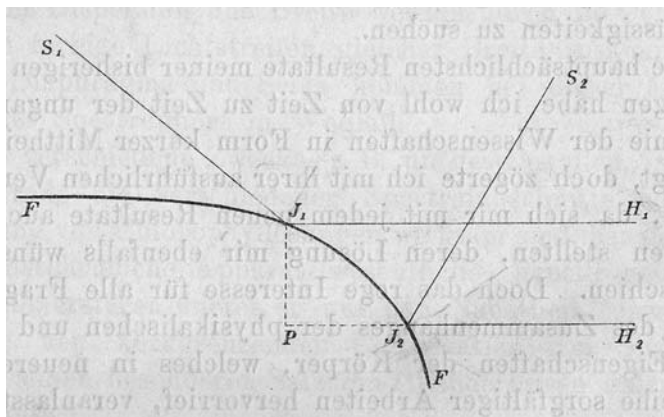
Életkor, év	Esemény
23	egyetemi magántanár
24	rendes egyetemi tanár
25	akadémiai levelező tag
30	tanszékvezető (élete végéig)
35	akadémiai rendes tag
41	az akadémia elnöke (16 évig)
43	az egyetem rektora (1 évig)
46	miniszter (7 hónapig)
47	visszatér az egyetemre
57	visszavonul a közéletől (inga-mérések)
61	halála

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 carcolat, amelynek írója Cholnoky Viktor, a nagy földrajztudós Cholnoky Jenő öccse. *A Hét* 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 víz-csepp kutatója sohasem tudott [egy vízcseppet csak] vízcseppnek látni. Láta ... hogy ez a víz nem csupán H₂O, 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 pályadijakat is elnyerik egymás elől, de akár így, akár úgy cselekesznek, mindenképpen élősdiek... Végzetes 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 Matematikai és Fizikai Lapokat. 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. [9])

A felületi feszültség vizsgálata és az Eötvös-szabály

Eötvös az egyetemi fizikatanítás mellett intenzív tudományos tevékenységet is folytatott. Kísérleteit folyadékot kritikus állapotának vizsgálatával kezdte, azonban ezek a kísérletek üveg-edényben 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 mintegy tízéves rendszeres tanulmányairól és azok alapos elemzésének eredményéről 1886-ban, a téma-terület vezető német folyóiratában [11]. A módszer szemléltetését utóbbi közleményéből másolva a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra. Eötvös Loránd ábrája a felületi feszültség mérésének elvéről 1886-os német nyelvű közleményében

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 sugaraknak a 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 használt módszerekkel szemben több előnye is volt. Egyrészt a reflexió 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 a cső 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.

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

Az állandó értéke milligrammsúly $\text{mm K}^{-1} \text{mol}^{-2/3}$ egységben szerepel a táblázatban (1 mgsúly $\text{mm K}^{-1} \text{mol}^{-2/3} = 9,80665 \times 10^{-7} \text{ J K}^{-1} \text{mol}^{-2/3}$)

für	Aethyläther	von	6	bis	62	°C	0,228
„	„	„	62	„	120	„	0,226
„	„	„	120	„	190	„	0,221
„	Aethylenbromid	„	20	„	99	„	0,227
„	„	„	99	„	213	„	0,232
„	Chloroform	„	20	„	60	„	0,230
„	Quecksilbermethyl	„	20	„	99	„	0,228
„	Kohlenstoffoxydchlorid	„	3	„	63	„	0,231
„	Kohlendioxyd	„	3	„	31	„	0,228
„	Wasser	„	3	„	40	„	0,159
„	Wasser	„	40	„	100	„	0,180
„	Wasser	„	100	„	150	„	0,228
„	Wasser	„	150	„	210	„	0,227
„	Essigsäure	„	21	„	107	„	0,132
„	Essigsäure	„	107	„	160	„	0,132
„	Essigsäure	„	160	„	230	„	0,138

Mindezek miatt a mérések – a korábbinál nagyobb pontosság mellett – egyrészt bizonyították, hogy a felületi feszültség időben állandó, másrészt lehetővé tették a hőmérsékletfüggés mérését korábban soha nem látott nagy hőmérséklet-tartományban. 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, $V_m^{2/3}$ a V_m moláris térfogat $2/3$ -ik hatványa, 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 háromdimenziós állapotegyenlet, ami a háromdimenziós gázra érvényes. Az Eötvös-szabály a kétdimenziós felületre érvényes. Ennek megfelelően a p háromdimenziós nyomás helyett a γ kétdimenziós felületi feszültség szerepel benne, 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 apró korrekció: T_0 értékét változtatja meg a kritikus hőmérséklethez képest.) A 2. táblázatban bemutatjuk Eötvös 1886-os eredményeit különböző folyadékok k értékére vonatkozóan.

Eötvös arra is rájött, hogy mi az oka annak, ha a k állandó eltér a táblázat elején található egyszerű folyadékokra kapott értéktől (ami kb. 0,227; SI egységekben kifejezve kb. $2,23 \times 10^{-7} \text{ J K}^{-1} \text{mol}^{-2/3}$). A táblázatból látható, hogy ez vízre az olvadáspont-hoz közelebb 0,159, míg a forráspont-hoz közelebb 0,180; ecetsav esetében pedig elég nagy hőmérséklet-tartományban 0,132. A moláris térfogatot kiszámíthatjuk a moláris tömeget a sűrűség-gel elosztva. Ha az olvadáspont-hoz 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 kiszámíthatjuk akár ismeretlen folyadékok moláris tömegét is, ha a hőmérséklet függvényében meghatározzuk a felületi feszültségüket elegendően nagy hőmérséklet-tartományban. 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-esnél sokkal nagyobbak is. A glicerintrisztearát 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 az egész molekula felületének csak töredéke a molekula felületigénye a folyadék felszínén.

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

Eötvös tudományos 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 az ún. torziós inga (más néven torziós mérleg) általa jelentősen továbbfejlesztett változatával (**4. ábra**) sikerült a tömegvonzás törvényében szereplő állandót 9 tizedesjegyre meghatározni. Ez akkora érzékenységnek felel meg, amely a torziós inga közelében elhelyezkedő tömeg néhány kilogrammos megváltozását képes pontosan érzékelni. Eötvös méréseinek pontosságát csak 1963-ban sikerült kb. 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 nyerte el, a 3400 márka pályadíjjal együtt. Az elvégzett munka során olyan pontossággal igazolták a súlyos (tömegvonzásból adódó) és tehetetlen (adott erő hatására történő gyorsulásból adódó) tömeg azonosságát, ami meggyezett az akkor elérhető legnagyobb tömegmérési pontosság-



4. ábra. Az Eötvös-féle torziós inga egyik változata, az ún. kettős inga (amelynek két függőleges karja van)

gal. [16] Ez az eredmény kísérletileg is megalapozta az általános relativitáselméletet, amit 1915-ben Einstein dolgozott ki. [17]

A kifejlesztett igen pontos eszköz és a mérések kiértékeléséhez szükséges elméleti módszerek részletes kidolgozása után lehetővé vált a gravitációs állandó, valamint a földi nehézségi gyorsulás igen pontos meghatározása. Ez a pontosság lehetővé tette azt is, hogy a nehézségi gyorsulás változását a Föld felszínén 1 m-nél rövidebb felbontással meg lehetett határozni. A változás 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 (pl. kősó vagy fémérc) lehetnek a föld alatt. Emiatt a nyersanyagkutatásban felfedezése óta jelentős szerepet tölt be az Eötvös-féle torziós inga.

Mivel Eötvös eredményei alapján a nehézségi gyorsulás iránymenti változásának mérésére is lehetőség nyílt, ezért annak egységét is róla nevezték el. A gravitációs gyorsulás SI mértékegysége a $m\ s^{-2}$; ennek a 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.

Eötvös egyik utolsó, gravitációval kapcsolatos eredménye az azóta róla elnevezett Eötvös-effektus felfedezése, amit először a tengeri hajókon végzett gravitációsgyorsulás-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 vonzásának és a centripetális gyorsulásnak az eredőjeként áll elő. Mivel a Föld nyugatról kelet felé forog, ezzel szemben, keletről nyugat felé mozogva a centripetális erő kevésbé csökkenti a Föld vonzását, azaz nagyobb lesz a testek súlya, mint nyugatról kelet felé mozgás közben, amikor a centripetális erő jobban csökkenti a Föld vonzását,



mint nyugvó esetben. Ennek a jelenségnek egyszerű kísérleti bemutatására Eötvös nagyon szellemes berendezést épített, amit Eötvös-mérlegnek nevezünk. Ennek a mérlegnek a karjain viszonylag nagy, egyenlő tömegű súlyok vannak. Álló helyzetben a mérleg éppen ki van egyensúlyozva. Ha a mérleget forgó alaphelyzetre 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 fordulatonként egyet lengeni, amíg a felfüggesztés és a légellenállás okozta csillapítás éppen egyenlő lesz a forgás okozta lengést növelő hatással. Az erről szóló közleményt Eötvös már a halálos ágyán írta; az csak posztumusz jelent meg, munkatársai szerkesztői közreműködésével. [18]

Eötvös Loránd 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 Roland és Ilona lányai felnőttek, hármasan jártak oda hegyet mászni. A tudományos közélet mellett nemcsak politikai szerepet vállalt (kulturális miniszter), hanem nagyon aktív szerepe volt a magyar turistaélet szervezeti hátterének 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 zöldőbb a fű, kékebb az ég, magasabbak a hegyek, szebbek vagy különösebbek a házak, barátságosabbak az emberek, s a ki ez álomkép eredetijét fáradtságtól 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 hegymászói tevékenységét földrajzi nevek is őrzik, pl. az Északi-Dolomitokban egy 2837 m magas csúcs, a Cima di Eötvös (**5. ábra**), illetve a Déli-Dolomitokban a Croda da Lago hegyvonulat 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: $TlAsS_2$.)

5. ábra. Az Eötvös-csúcs (Cima di Eötvös; 2837 m) a Cortina Dolomitok Cadini di Misurina hegyvonulatán



Az Európai Fizikai Társulat 2018-ban fizikátörténeti emlékhellyé nyilvánította a Trefort-kertben álló egykori Fizikai Intézetet, Eötvös Loránd kísérleteinek helyszínét



A hegymászó 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. 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 biciklivel mentek, igaz, nem Budapesttől, mert a túlzott anyai féltés miatt csak Fehérvárról mertek elindulni, ahová titokban előre küldték a bicikliket. [9]

Azt hiszem, Eötvös Loránd igazán megvalósította az antik költő, Juvenalis eszményét: *mens sana in corpore sano*.¹

IRODALOM

- [1] Fröhlich, I., Bátor Eötvös Loránd emlékezete (1929) (elérhető: <http://mek.oszk.hu/02000/02054/html/eotv9.html>)
- [2] 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>)
- [3] Dávid, L., Nyugat, 1919. április 1.
- [4] https://nyugat.oszk.hu/html/szakirodalom_kronologia.htm; letöltve 2019. február 18.
- [5] Kovács, L., Eötvös Loránd, a tudós-tanár, *Studia Physica Savariensia* VIII, 2001.
- [6] Tangl, K., Vizsgálatok a kapillaritásról, a Matematikai és Fizikai Lapok Bátor Eötvös Loránd Füzete, 1918.
- [7] Károlyházy, F., *Fizikai Szemle* (1998) 12. szám.
- [8] Ch. V. Eötvös Loránd báró, *A Hét*, (1905) XXV. évfolyam, 42/84. szám, 682–683.
- [9] Kiss, D. D., A természetszerető Eötvös Loránd; levéltári és kéziratári kutatások, Magyar Tudománytörténeti és Egészségtudományi Intézet, Budapest, 2017.
- [10] Eötvös L., *Műegyetemi Lapok* (1876) 1., 2–10.
- [11] Eötvös, R., *Annalen der Physik und Chemie* (1886) 27, 448–459.
- [12] Rokob, T. A., Láng, G. G., *Electrochimica Acta* (2005) 51, 93–97.
- [13] 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.
- [14] Varga I., Keszthelyi T., Mészáros R., Hakkel O., Gilányi T., *J. Phys. Chem. B* (2005) 109, 872–878.
- [15] Roll, P. G., Krotkov R., Dicke R. H., *Annals of Physics*, (1964) 26, 442–517.
- [16] v. Eötvös, R., Pekár, D., Fekete, J., *Ann. Phys.* (1922) 373, 11–66.
- [17] Einstein, A. Zur allgemeinen Relativitätstheorie, *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften (Berlin)*, (1905) 778–786.
- [18] Eötvös, R., *Annalen der Physik*, (1919) 59, 743–752.
- [19] Eötvös Loránd elnöki megnyitó beszéde a Magyar Kárpát Egyesület Budapesti Osztályának 1891. február 14-i ülésén. Idézi [9]; megjelent a *Herkules* c. újság 1891. évi 9. (máj. 1.) számában.

¹ A latin mondat jelentése: Egészséges testben egészséges szellem. Szokásos magyar változata: ép testben ép lélek.