

# STUDIA PHYSICA SAVARIENSIA

---

## VIII.

Kovács László

### Eötvös Loránd, a tudós-tanár

Loránd Eötvös – Scientist-Teacher





KOVÁCS LÁSZLÓ  
EÖTVÖS LORÁND, A TUDÓS-TANÁR  
LORÁND EÖTVÖS – SCIENTIST-TEACHER





**Feszt László rézkarca (1994)**  
Etching by László Feszt



Kovács László

# **Eötvös Loránd, a tudós-tanár**

Loránd Eötvös – Scientist-Teacher

Szombathely

2001



Készült  
az OTKA T 025 887 számú fizikatörténeti pályázat  
és a BDF Tudományos Tanácsának támogatásával

Prepared  
with the support of OTKA T 025 887 History of Physics Grant  
and the Dániel Berzsenyi College Scholarship Council

STUDIA PHYSICA SAVARIENSIA (SPS)

Redigit

Kovács László

Berzsenyi Dániel Főiskola Fizika Tanszék  
9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

TOMUS VIII. KOVÁCS LÁSZLÓ: EÖTVÖS LORÁND A TUDÓS-TANÁR  
LORÁND EÖTVÖS – SCIENTIST-TEACHER

ISSN 1219-2678

ISBN 963 9290 25 4

Angol fordítás/Translated by: Mark Trotter

A borító első oldalán Kiss Sándor domborműve (1992)  
(Heidelbergi Egyetem)

Front cover: Bronze tablet by Sándor Kiss (1992)  
(University of Heidelberg)

A hátsó borítón Borbás Tibor bronz mellszobra (1989)  
(Eötvös Loránd Általános Iskola, Balatonfüred)

Back cover: Bronze bust by Tibor Borbás (1989)  
(Loránd Eötvös Elementary School, Balatonfüred)

Nyomdai előkészítés/Manuscript prepared by:  
Kerényi DTP & Design Stúdió Bt.

Nyomda/Printed by:  
Balogh és Társa Kft.



Az Eötvös osztály,  
egyetlen osztályom tiszteletére

In honor of the Eötvös Class  
my only class



**Class Seal**



# Tartalomjegyzék

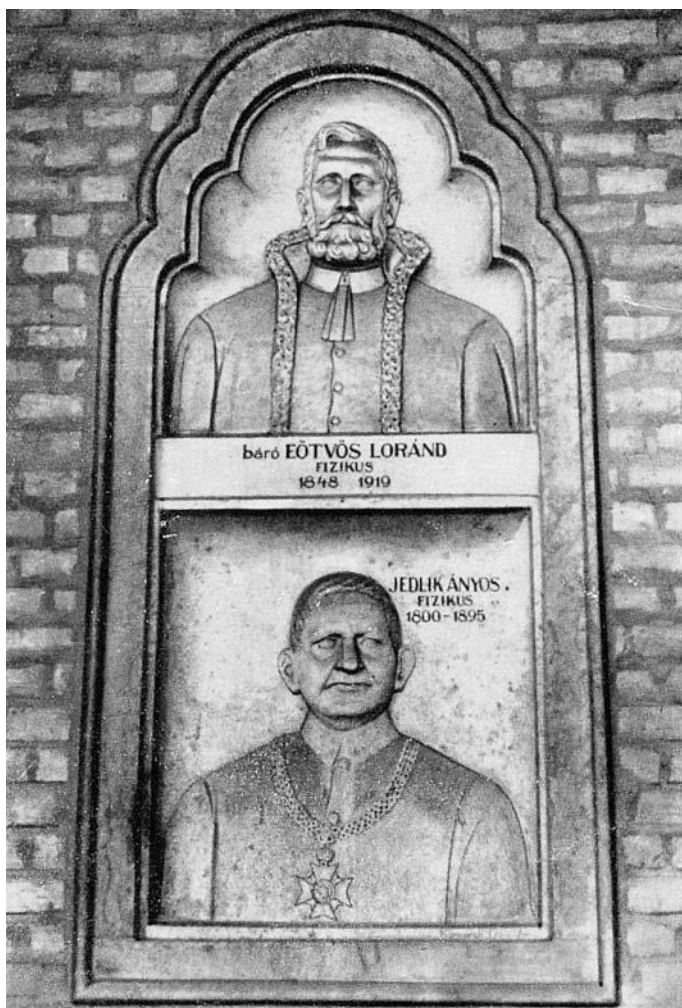
Előszó .....	10
Bevezetés .....	12
Eötvös Loránd életrajzi vázlata kiegészítésekkel. ....	18
Mester és tanítvány .....	37
1. A felületi feszültség változása .....	39
Eötvös-törvény – Eötvös-féle kapilláris forgó készülék	
2. „A földi mágneses erőkről” .....	48
Mágneses anomáliák mérése – a földmágnesség kimutatása lággyvas-rúddal, elektromos indukcióval	
3. A nehézségi gyorsulás értékének meghatározása .....	52
Négyingás műszer – Eötvös-féle ejtő inga	
4. „A nehézségről a Földön mozgó szerkezetekben” .....	57
Eötvös-effektus – Eötvös-féle forgó mérleg	
5. A tömegvonzás vizsgálata .....	69
Demonstrációs torziós ingák – az Eötvös-inga	
6. A súlyos és tehetetlen tömeg arányossága .....	81
Mérések torziós ingával – vízben úszó testtel	
7. Házi feladat .....	93
Eötvös Loránd irodalmi munkássága .....	95
Felhasznált irodalom .....	104



# Contents

	Hungarian	English
Foreword . . . . .	10 . . . .	11 (T)
Introduction . . . . .	12 . . . .	14 (T)
Life of Loránd Eötvös – Cronicle with Commentary . . . . .	18 . . . .	29 (T)
Master and Pupil . . . . .	37 . . . .	38 (T)
1. Variation of Surface Tension . . . . .	39 . . . .	47 (S)
Eötvös law – „Surface tension motor” made by Eötvös		
2. Investigations of the Earth’s Magnetic Field . . . . .	48 . . . .	51 (S)
Measurement of variation of the Earth' magnetism – Demonstration of Earth' magnetism with soft iron rod and electro-magnetic induction		
3. Measurement of the Gravitational Acceleration . . . . .	52	
Four-pendulums device – Eötvös Pendulum of half a second for free fall		
4. Changes in Weight of Bodies in Motion on the Earth. . . . .	57 . . . .	65 (O)
Eötvös Effect – Rotaring balance of Eötvös		
5. Studies in the Field of Gravity. . . . .	69 . . . .	76 (O)
Torsion balances in the education – Eötvös torsion balance		
6. Proportionality of Inertia and Gravity . . . . .	81 . . . .	87 (O)
Measurement with torsion balance – with a body floating freely on a surface of water		
7. Problem . . . . .	93 . . . .	93 (T)
Bibliography . . . . .	95	
References . . . . .	104	
(T) – Translation		
(S) – Summary		
(O) – Original Papers		





**Jedlik és Eötvös közös emléktáblája Szegeden**

Jedlik and Eötvös memorial tablet at Szeged



*„Tudományos az iskola, tudományos a tanítás ott, de csakis ott, ahol tudósok tanítanak. Hozzátehetem, hogy tudósnak nem a sokat tudót, hanem a tudomány kutatóját nevezem. . .*

*A gondolkodásban önállóságot csak az olyan tanár tanítása adhat, aki maga önállóan gondolkodik, s éppen ez az önállóság az, ami a legszükségesebb a tudósnak, mint a gyakorlat emberének.”*

**Eötvös Loránd: Az egyetem feladatáról. Rectori székfoglaló beszéd a Budapesti Tudományegyetemen, 1891.**

*A school is only truly scientific if scientists teach there. But I would add that a scientist is not the person who knows many things, but the person who actively searches for knowledge...*

*Independence of thought can only be taught by a teacher who is capable himself of thinking independently. And it is precisely independence of thought which is most necessary for the scientist as well as for the man of practice.*

**Loránd Eötvös: „The Tasks of the University.” Inaugural speech upon assumption of the rectorship of the University of Budapest in 1891.**



# Előszó

Az Eötvös Loránd Tudományegyetemre jártam. Éppen abban a tanévben kezdtem tanulmányaimat, 1960-ban, amikor az Egyetem fennállásának 325. évfordulóját ünnepelték.

Eötvös emlékével lépten-nyomon találkoztunk. A Puskin utca felől az akkor frissen, 1959-ben avatott emléktáblája mellett léptünk be a Trefort-kertbe. A D-épület lépcsőházában az 1934-es márványtáblája előtt mentünk el naponta. A kísérleti fizika előadásokat az Eötvös előadó teremben hallgattuk, és amikor *Heisenberg* díszdoktori előadására siettünk 1963-ban a Kecskeméti utcai jogi kari aulába a lépcsőházban és a teremben egy-egy szobrárt is láthattuk.

Tornaóránk a Bölcsészkaron abban a Dunára néző teremben volt, ahol éppen 100 évvel korábban Loránd, a piarista diák is rózta a köröket. Az Egyetemi Színpad előadásaira a tornacsarnok feletti színházterembe mentünk, oda, ahova Loránd szentmisére járt, hisz akkor az kápolna volt, és most újra az.

A „latin-estre” beengedtek bennünket a Ménesi úti Eötvös Kollégiumba, melyet Loránd alapított, és amely író édesapja nevét viseli.

Az Egyetemi Lapokban gyakran olvastunk történeteket Eötvösről, és *Abonyi Iván* fizikátörténeti előadásain megismerhettük életművét.

Én behatóan azonban csak 1966 nyarán kezdtem Eötvössel foglalkozni, akkor, amikor kémia-fizika tagozatos nagykanizsai gimnáziumi osztályomnak névadót kerestem. Két kauluzom volt: Környei Elek 1964-ben megjelent nagyszerű könyve: *Eötvös Loránd a tudós és művelődéspolitikus írásaiból* (Gondolat Kiadó, Bp.), és az 1930-ban kiadott, kincset érő *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv*, Fröhlich Izidor szerkesztésében (MTA-kiadás). (Ekkor tudatosodott csak bennem, hogy Eötvös báró volt.)

1968-ban az *Eötvös osztály* a D épületi nagyelőadóban meghatározta a nehézségi gyorsulás értékét Eötvös fél másodperces ejtő ingájával, látott eredeti Eötvös-féle torziós ingát, és megkoszorúzta névadója Puskin utcai emléktábláját. (Ezután Pesten járván évekig büszkén néztem föl a zsugorodó, porosodó koszorúra: „Ezt mi tettük oda.”) Ugyanígy koszorúztak 2000-ben Szegeden a Dóm téri Nemzeti Panteonban a közös Jedlik-Eötvös domborműnél az 50 éves Eötvös osztály tagok. Születésnapj ajándékként Nekik ajánlom e könyvet.

Szombathely, 2001. április 21.

Kovács László



# Foreword

I began my studies at the Loránd Eötvös University of Arts and Sciences in 1960, when the University celebrated its 325th anniversary.

The memory of Eötvös greeted my classmates and me at every turn. Stepping off Pushkin Street into the Trefort Garden, we passed by the plaque put up in his memory in 1959. Everyday we saw another memorial plaque (of marble) as we made our way up and down the stairs of the D-Building. Our lectures in experimental physics took place in the Eötvös Auditorium, and at the Law Faculty on Kecskemét Street, where we had rushed to hear *Heisenberg* deliver his honorary doctoral lecture, we encountered statues of Eötvös in both the stairwell and the lecture hall. As a Piarist schoolboy, Eötvös had run laps in the very gymnasium overlooking the Danube where our physical education classes were held. Above the gymnasium we took in performances of the University Drama Troupe in a theater which occupied the site of the former chapel in which Eötvös had attended mass (the space currently houses a chapel once more). On the occasion of "Latin Evenings" we were admitted into the Eötvös Residential College, founded by Eötvös and named in honor of his father the writer. We often read about Eötvös in the University Chronicle and learned still more about his achievements at *Iván Abonyi's* lectures on the history of physics.

I began to investigate Eötvös's life and work more thoroughly during the summer of 1966. As mentor of the specialized class in physics and chemistry at Nagykanizsa Comprehensive School, I was looking for an appropriate eponym for the class. My guides in this undertaking were Elek Környei's splendid *Eötvös Loránd a tudós és művelődéspolitikus írásaiból* [*Loránd Eötvös, Scholar and Cultural Activist: Selected Writings*] (1964, Budapest: Gondolat Kiadó) and the invaluable *Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv* [*Baron Loránd Eötvös: Memorial Volume*] edited by Izidor Fröhlich (1930: MTA Publication).

Gathering at the D-Building of the Loránd Eötvös University in 1968, the Eötvös Class calculated the value of gravitational acceleration using Eötvös's half-second pendulum, examined Eötvös's original torsion balance, and laid a wreath on the Eötvös memorial plaque which hangs on Pushkin Street. (For years thereafter, whenever I found myself in Budapest I would gaze with pride at the shriveled and dusty wreath, thinking: "It was we who put that there.") In 2000, when members of the Eötvös Class turned fifty, they met on the Dóm Square at the National Pantheon in Szeged to place a wreath on the reliefwork monument which jointly honors Jedlik and Eötvös.

By way of a birthday present, I dedicate this book to the members of the Eötvös Class.



# Bevezetés

Befejezván a XX. századot dicsőítjük annak magyar származású formálóit, fizikusokat, kémikusokat, orvosokat, írókat és közgazdászokat, a „*Marslakókat*”, akik elárasztották Nyugat-Európát majd az Amerikai Egyesült Államokat. Ők valóban vezető szerepet játszottak a tudományos és a politikai életben. Megfelelkezünk azonban azokról, akik elindították őket ezen az úton: tanáraikról, vezető kultúrpolitikusaikról. A kortárs amerikai Nobel-díjas kísérleti fizikus, a jó humorú fizikatörténet-író, *Leon Lederman* azonban emlékeztet bennünket a Mesterre.

*„Jelöljük ezt a két különböző tömeget nagy M-mel és kis m-mel. A nagy M a tárgyban lévő gravitációs anyag, amely azt egy másik tárgyhoz húzza. A kis m a tehetetlen tömeg, az az anyag a tárgyban, amely ellenáll az erőnek és meghatározza a létrejövő mozgást. Ez az anyag két különböző tulajdonsága. Newton éles elméjével megértette, hogy Galilei kísérlete (emlékezzetek Pisára!) és sok más dolog erősen azt sugallja, hogy  $M=m$ . A gravitációs anyag pontosan egyenlő azzal a tehetetlen tömeggel, amely Newton második törvényében szerepel...*

*...Newton nem értette, hogy miért egyenlő ez a két mennyiség, ő csak elfogadta e tényt. Sőt kitalált néhány okos kísérletet arra, hogy tanulmányozza ezt az ekvivalenciát. Kísérletei körülbelül 1%-os pontossággal mutatták a kétféle tömeg ekvivalenciáját. Azaz  $M/m=1,00$ ; M osztva m-mel 1-t ad két tizedesjegy pontossággal. Több, mint két évszázaddal később ezt a számot jelentősen megjavították. 1888 és 1922 között, egy magyar nemes, báró Eötvös Loránd az inga-végeken alumíniumot, rezet, fát és sok más anyagot használva hihetetlenül ügyes kísérlet-sorozattal bebizonyította, hogy az anyag ezen két igen különböző tulajdonságának az ekvivalenciája egy-per-ötmilliárdos bizonytalansággal igaz. A matematika nyelvén:*

*$M$  (gravitációs) /  $m$  (tehetetlenségi) = 1.000 000 000 plusz-mínusz 0,000 000 005, azaz ez a hányados 1,000 000 005 és 0,999 999 995 között van. Mára ezt a hányadost három újabb tizedesjeggyel javították meg.*

*Eötvös bárónak legfigyelemre méltóbb eredményei az  $M$  és az  $m$ -re vonatkozó kutatásai voltak, de nem ezek jelentik a tudományhoz való legfőbb hozzájárulását. Többek közt a pontozás egyik úttörője is volt. Kétszer két pont! És ami ennél még fontosabb: érdekelt a természettudományos oktatás, és a tanárképzés, amely*



*az én szívemhez is olyan közel áll. A történészek felfjegyezték, hogy Eötvös báró oktatási sikerei nyomán robbanásszerűen megnőtt a zsenik száma. Ilyen nevezetességek, mint a fizikus Teller Ede, Wigner Jenő, Szilárd Leó és a matematikus Neumann János mind-mind az Eötvös-korszakban Budapestről indultak. A XX. század kezdetén olyan mértékben termelte Magyarország a természettudósokat és matematikusokat, hogy sok – egyébként higgadt megfigyelő – azt hitte, hogy Budapestet Marslakók szállták meg, azért, hogy mindenhova beszivárognak és elfoglalják bolygónkat.”*

*(Leon Lederman, The God Particle. 1993, Boston-New York, Houghton Mifflin Company 95-96. oldaláról fordította a szerző.)*

(Sajnos helyesbíteniünk kell Ledermant. Nem tartotta be a könyvtárosok „Vedd kézbe” elvét, ezért végeztette Eötvössel M/m-méréseit még 1922-ben is, három évvel Eötvös halála után. Ha kézbe vette volna az Annalen der Physik (4) 1922. évi 68. kötetét, akkor láthatta volna, hogy az Eötvös†–Pekár–Fekete-cikk szerzőinél Eötvös neve után kereszt szerepel.)

Úgy döntöttem, csatlakozom Ledermanhoz, és a Manitobai Egyetem 2001. évi, soronkövetkező nyári iskoláján Winnipegben Eötvös Lorándról fogok beszélni. Az Arthur O. Stinner professzor által szervezett nyári iskolákon azzal foglalkozunk, hogy miként tudjuk a tanításban a tudománytörténetet hasznosítani. Én Eötvös Lorándnak azokat a demonstrációs kísérleteit mutatom be, amelyek az ő saját tudományos felfedezéseire épülnek, illetve azokhoz kapcsolhatóak.

Az Eötvös osztály tagjainak és a kanadai nyári iskola résztvevőinek szánt írásomban ismertetem magát a tudományos eredményt, annak legfontosabb nemzetközi visszhangját és vázlatosan a teljes Eötvösi életpályát is. Csak olyan dolgokról írok részletesebben, amelyekkel eddig nem találkoztam az általam ismert Eötvösről szóló irodalomban; pl. Eötvös keresztnevei, Lénárd Fülöp budapesti magyar nyelvű laborjegyzőkönyve az Eötvös-féle reflexiós módszer alkalmazásáról, Zemplén Győzőnek Einstein bécsi előadásához fűzött kommentárja, a princetoni Eötvös-émlék, a Pedagógiai Múzeum ejtőinga-replikája.

Elsősorban Eötvös eredeti írásaira támaszkodva a legfontosabb részeket angolul is közreadjuk alapvetően a *Three fundamental Papers of Loránd Eötvös*, Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, 1998 könyvre támaszkodva.



# Introduction

Looking back over the past century, we celebrate the Hungarian origins of those physicists, chemists, physicians, writers, and economists who flocked to Western Europe and later to the United States. They played a truly leading role in scholarly and political life. Regrettably, the teachers and prominent cultural activists who gave them their start in life are all too often forgotten. However, the contemporary American experimental physicist and Nobel Prize laureate *Leon Lederman*, in his amusing history of physics, recalls the achievements of the Master:

*„Let's call these two different kinds of masses big  $M$  and little  $m$ . Big  $M$  is the gravitational stuff in an object that pulls on another object. Little  $m$  is inertial mass, the stuff in an object that resists a force and determines the resulting motion. These are two quite different attributes of matter. It was Newton's insight to understand that the experiments carried out by Galileo (remember Pisa!) and many others strongly suggested that  $M = m$ . The gravitational stuff is precisely equal to the inertial mass that appears in Newton's second law.*

*Newton did not understand why the two quantities are equal; he just accepted it. He even did some clever experiments to study their equality. His experiments showed equality to about 1 percent. That is,  $M/m = 1.00$ ;  $M$  divided by  $m$  results in a 1 to two decimal places. More than two hundred years later, this number was dramatically improved. Between 1888 and 1922, a Hungarian nobleman, Baron Roland Eötvös, in an incredibly clever series of experiments using pendulum bobs of aluminum, copper, wood, and various other materials, proved that the equality of these two very different properties of matter was accurate to better than five parts in a billion. In math this says:  $M(\text{gravity})/m(\text{inertia}) = 1.000\,000\,000$  plus or minus  $0.000\,000\,0005$ . That is, it lies between  $1.000\,000\,005$  and  $0.999\,999\,9995$ .*

*Today we have confirmed this ratio to more than twelve zeroes past the decimal point...*

*Baron Eötvös's research on  $M$  and  $m$  was his most noteworthy scientific work but by no means his major contribution to science. Among other things, he was a pioneer in punctuation. Two umlauts! More important, Eötvös became interested in science education and in the training of high school teachers, a*



*subject near and dear to me. Historians have noted how Baron Eötvös's educational efforts led to an explosion of genius—such luminaries as the physicists Edward Teller, Eugene Wigner, Leo Szilard, and the mathematician John von Neumann all came out of Budapest during the Eötvös era. The production of Hungarian scientists and mathematicians in the early twentieth century was so prolific that many otherwise calm observers believe Budapest was settled by Martians in a plan to infiltrate and take over the planet.”*

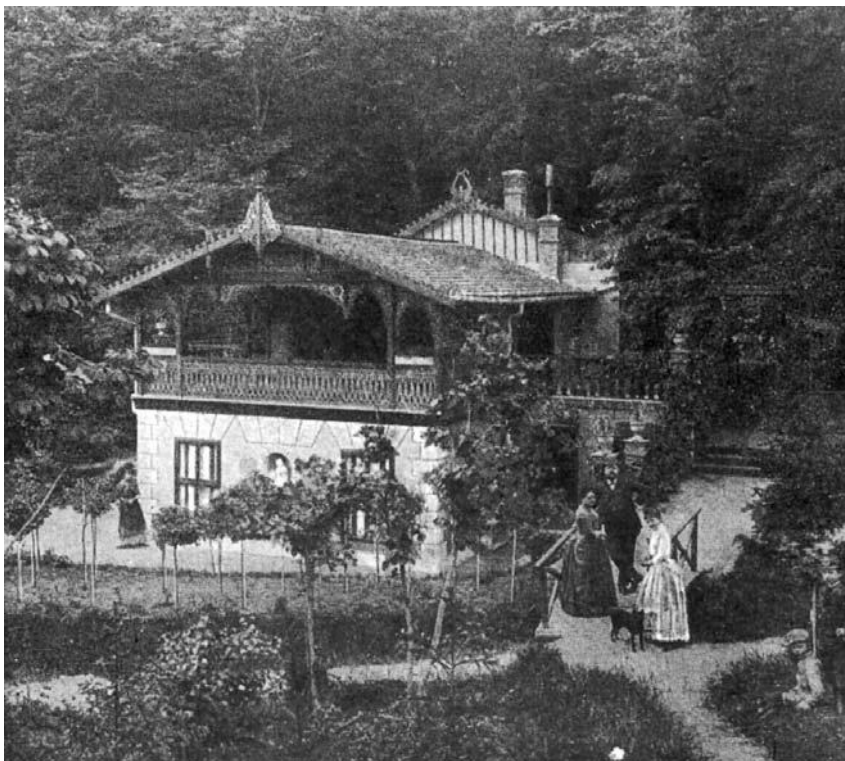
*(Leon Lederman, The God Particle. 1993, Boston-New York, Houghton Mifflin Company. 95-96)*

(Unfortunately, we must correct Lederman. Failing to heed the librarian's advice to "look it up," Lederman has placed the last of Eötvös's experiments in 1922, three years after Eötvös's death. Had he consulted the issue of *Annalen der Physik* in which the relevant article co-authored by Eötvös, Pekár, and Fekete appeared in 1922 [Volume 68, 4], he would have found a cross next to Eötvös's name).

Following Lederman's example, I have decided to speak about Loránd Eötvös at this year's session of the Summer School of the University of Manitoba in Winnipeg. At the Summer School, organized by Professor *Arthur O. Stinner*, we explore ways in which the history of science can be incorporated into teaching. I will demonstrate those experiments of Eötvös's which figured in his scientific discoveries and provide a brief account of Eötvös's life and achievements. The present work treats in detail only those matters pertaining to Eötvös which have not been discussed in the relevant literature at my disposal. Such matters include Eötvös's Christian names, Fülöp Lénárd's laboratory notes devoted to Eötvös's application of the reflection technique, Győző Zemplén's commentary to Einstein's Vienna lecture, the memorial to Eötvös at Princeton, and the pendulum replica in the Pedagogical Museum.

The most important themes of this work are treated in an English language discussion, based on material from *Three fundamental Papers of Loránd Eötvös*, Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, 1998.



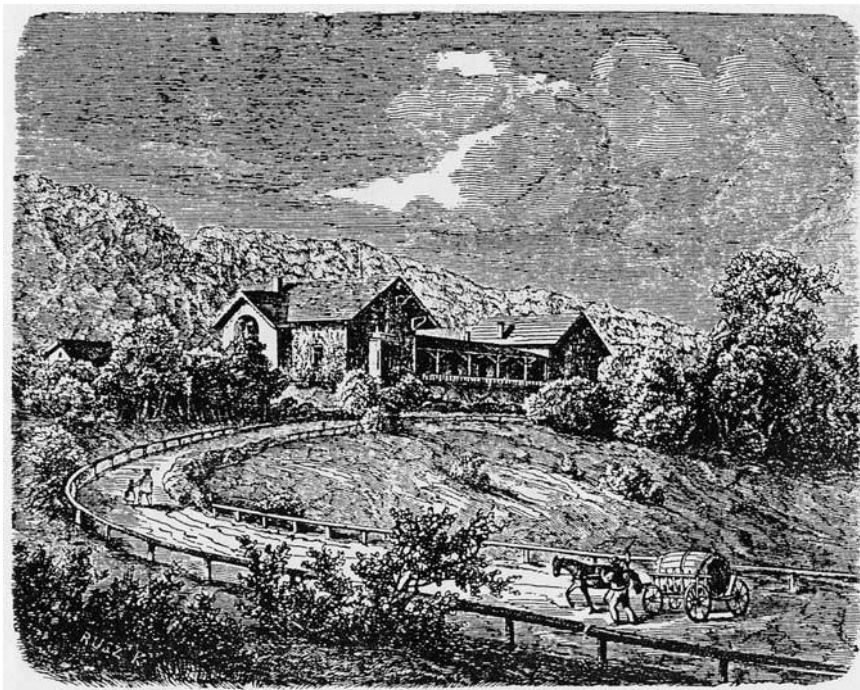


**A Karthausi-lak a Svábhegyen**  
The "Karthaus" cottage at the Sváb-hill

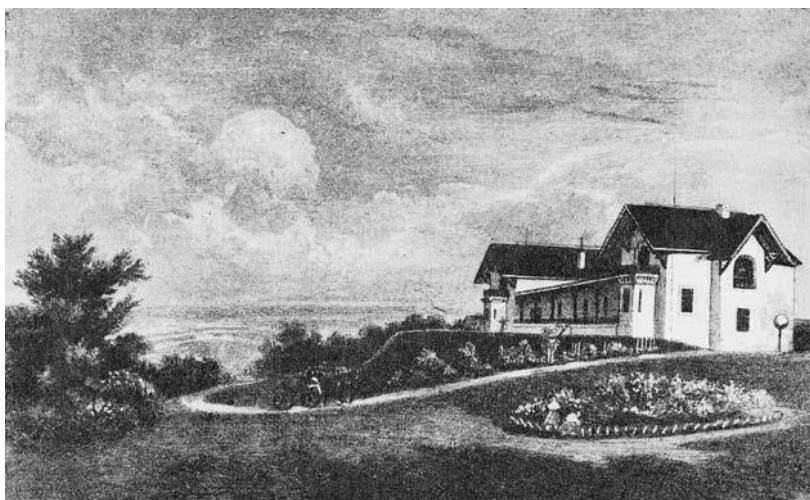
	Loránd	R.	M.
	Agoston	Méltóság. Daxo	
5.	Ignác	Eötvös József	
trületes	Albert	és	
Julius	József	Rosty Agnes	
24. évi	Förvényes.	R. M.	
		Reigl, Antal,	
	Julius		

**Eötvös Loránd Ágoston Ignác Albert József anyakönyvi bejegyzése**  
Record of Loránd Ágoston Ignác Albert József Eötvös in the register of births





**Rusz Károly rézkarca Eötvös Loránd szülőházáról**  
 Birthplace of Loránd Eötvös. Etching by Károly Rusz



**Keleti Gusztáv akvarellje alapján készült kép Eötvös József svábhegyi villájáról**  
 Cottage of József Eötvös, based on a water-colour of Gusztáv Keleti



# Eötvös Loránd életrajzi vázlata kiegészítésekkel

- 1848 július 27-én született Budán, anyakönyvezési szempontból akkor a Krisztinavároshoz tartozó *Svábhegyen*. Szülőháza az Eötvös villa ma már nem létező főépülete lehetett (XII. Eötvös u. 12.), amely mellett egy kisebb házat is építtetett a neves író és politikus édesapa: Eötvös József. Ez a ház a ma is meglevő XII. kerület Karthausi u. 14. szám alatti *Karthausi-lak*. (A felvétel 1898 előtt készült.) A Krisztinavárosi Plébánián (I. Mészáros u. 1.) megvan a korabeli anyakönyv. A 150. oldalon a „*Krisztus Urunk’ születése után 1848. Augusztus 5.*”-i bejegyzés így kezdődik: „született julius 27-kén”, majd „*A’ Kereszteltnek Neve, és Törvényszerűsége*” rovatban: „Loránd Ágoston Ignác Albert József. Törvényes.” A sok keresztnév utal az ősökre, a keresztapára. Ugyanis „*Az atya’ és anya’ Hitvallása Polgári állása és Lak-helye*” rovatokban ez áll: „*Méltóság. Báró Eötvös József és Rosty Agnes R. k. Magyar Országí Cultus Minister Schwábhegy B. K. V.*” (= Buda Krisztinaváros)
- „*A’ Keresztszülők’ Vezeték és Keresztneve: Nagys. Trefort Ágoston Magy. kormányi titkár és Tek. Kisasszony Rosty Anna*”. (Rusz Károly 1866 előtt készült rézkarcán a feltételezett szülőházat az út felől, a *Keleti Gusztáv* [Loránd egyik házi tanítója] akvarellje után készült képen pedig az udvar felől látjuk). Az 1848. július, augusztusban írt, fennmaradt levelek közt nem találtunk Loránd születése helyére vonatkozó utalást. Azt tudjuk, hogy Eötvös Józsefnek volt lakása a Krisztinavárosban, a Budai Vár mögött (a Schreiber házban, Szt. Gellért u. 106.). Azonban a „Benn a városban a felséges nép lázongott” – írta 1868. július 28-án Eötvös József Heidelbergbe fiának a születésére visszaemlékezve a 20. születésnapon. Így jobbnak látta a félkész vil-lába vinni feleségét és a híres sebészprofesszort Balassa Jánost (1814–1868). „... hajnal felé Balassa tudtomra adá, hogy anyád veszélyen kívül van; s öt megcsókolva a városba lesiettem” – folytatódik a levél.
- 1860–65 nyilvános tanuló lett a *piaristák pesti gimnáziumában*. Domborműves már-ványtábla őrzi ennek emlékét, amelyen a kezdő évszám hibás.
- 1865 a *Pesti Tudományegyetemen* jogés államtudományi tanulmányokba kez-dett.



- 1867      őszén Than Károly kémia professzor javaslatára beiratkozott a *Heidelbergi Egyetemre*, és három féléven át hallgatta Kirchhoff, Helmholtz, Bunsen, Königsberger és Hesse előadásait, végezte a laboratóriumi gyakorlatokat.
- 1869      Az 1868/69-es tanév második félévét Kirchhoff tanácsára a *Königsbergi Egyetemen* töltötte, hogy az elméleti fizikus Franz Neumanntól megtanulja „miként kell experimentálni, jobban mondva, miként kell a kérdést felállítani úgy, hogy reá a természet megfelelhessen” (Loránd levele édesapjához 1869. január 30-án). Kezdetben megijedt a sok matematikától, melyet Neumann, Richeliot és Luther alkalmazott. Később azonban éppen Neumann hatására *gondolt* ki egy új módszert a felületi feszültség mérésére „amiért Fr. Neumann meg is dícsérte” (Tangl K.: Vizsgálatok a kapillaritásról, Báró E. L. Füzet 1918.) Lehet, hogy a *dicséret* hiányzott Lorándnak Heidelbergben?
- 1869      őszétől újra *Heidelbergben* tanult, készült doktori szigorlatára. Abban az időben új, nehezebb feltételeket szabtak a doktori disszertáció elkészítéséhez. Korábban elegendő volt a szakirodalom összegyűjtése, elemzése, most azonban önálló kutatási eredményeket kértek. Loránd végzett is kísérleteket a foszforencia témaköréből, de nem ért el semmilyen értékelhető eredményt, s ezért Pesten, Párizsban vagy Berlinben szeretett volna kísérletezni. Nagyon érdekes, hogy a híres kísérletezők, Bunsen és Kirchhoff nem tudták irányítani Eötvöst. Vagy az ilyen irányú akarat vagy a tanári képesség hiányzott belőlük.
- 1870      július 8-án Eötvös Loránd – disszertáció benyújtása nélkül – *summa cum laude* fokozattal letette *doktori szigorlatát* természettanból, mint fő tárgyból, matematikából és kémiából, mint melléktárgyakból Gustav Kirchhoff, Leo Königsberger és Robert Bunsen előtt. Ezt aényt, a heidelbergi tanulást és doktorálást 1992 óta Eötvös-portrész bronz emléktábla hirdeti az akkori természettudományi épület kapualjában: Hauptstrasse 47–51, az egészalakos, hatalmas Bunsen-szobor mögött. (Kiss Sándor szobrászművész alkotásából az Eötvös-reliefet a művész újra öntötte a celldömölki Eötvös Iskola számára, a gipsz eredetit pedig a Berzsenyi Főiskola Fizika Tanszékének adományozta).
- 1871      március 14-én a *pesti tudományegyetemen* a felsőbb természettan helyettes tanárává választották. Első előadását április 17-én tartotta meg *három* egyetemi hallgató (köztük Pekár Dezső) és a tudós báróra kíváncsi érdeklődők előtt.
- 1872      május 10-én az elméleti fizika tanszék *nyilvános rendes tanárává* nevezték ki.



- 1873 május 21-én a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) *levelező tagjává* választotta, jóllehet azideig egyetlen tudományosnak mondható előadása hangzott el 1871. június 17-én az MTA III. osztályának ülésén: *A rezgési elméletből következő távolbani hatás törvényeiről*. (Kivonata megjelent az MTA Értesítő V., 1871., 207–212 oldalain). Ezen kívül csupán ismertetéseket, fordításokat közölt a Természettudományi Közlönyben. Az ezidő tájt született egyéb elméleti fizikai dolgozatait később ő maga is jelentéktelennek minősítette.
- 1874 október 19-től *kísérleti fizikából is tarthatott már előadásokat* és használhatta a Jedlik Ányos felügyelete alá tartozó természettani szertárat. Jedlik általában nem szerette az „óraadó” tanárokat, akik csak használták, de nem fejlesztették a szertárt. Eötvöst azonban nagyatyai szeretettel fogadta és az együtt töltött 8 év alatt biztosan hatott rá. Megkockáztatjuk azt a kijelentést, hogy ami nem sikerült Kirchhoffnak és Bunsennek, azt véghez vitte Jedlik: Eötvös figyelmét az elmélyült kísérleti munka felé terelte.
- 1878 A nyugalomba vonult 78 éves Jedlik Ányos helyére kinevezték a természettani tanszék *rendes tanárának*.
- 1879 január 19-én megtartotta *székfoglaló előadását* az MTA-n: *Adatok az elektrosztatika elméletéhez*. A témát Jedlik sugallhatta; együtt kísérleteztek Jedlik „villamfeszítőjével”, a párhuzamosan feltöltött és sorosan kisütött kondenzátor-sorozattal, a kaszkád generátor őseivel.
- 1881 Magyarország hivatalos képviselője volt az I. Nemzetközi Villamossági Kongresszuson *Párizsban*. Tanulmányozta a francia oktatásügyet. Példát kapott a majdani Eötvös Kollégium létrehozásához. A francia kormány a Becsületrenddel tüntette ki.
- 1883 Az MTA *rendes tagjává* választották. Kezdeményezésére megkezdtek az új fizikai intézet építését a mai Puskin utcában (akkoriban Eszterházy utca), amit 1886-ban adtak át. Eötvös lakást is kapott az épületben.
- 1885 január 19. Megtartotta *második székfoglaló előadását* az MTA-n: *A folyadékok felületi feszültségének összefüggése a kritikai hőmérséklettel* címen.
- 1886 Az **Eötvös-törvény** – amely a felületi feszültségnek a molekuláris térfogattal való kapcsolatáról szól – publikálása (Math. és Term. Ért. IV. 1886. p 34–41.).  
Az **Eötvös-törvény** idegen nyelvű közlése (Ann. d. Phys. u. Chem. Neue Folge 27. 1886, 448–459.).
- 1888 Megkezdte **gravitációs** méréseit.
- 1889 május 3. Megválasztották az MTA *elnökének* (Trefort Ágostont követte e poszton). Megszakítás nélkül elnök volt 16 éven át, 1905. október 9-ig.



- 1890 „41 éves korában publikálta az elsőt híres, gravitációval foglalkozó dolgozatai közül” [A *Föld vonzása különböző anyagokra*, Akadémiai Értesítő I. 1890, p 108–110; az 1889. január 20-án tartott előadás kivonata] (R. H. Dicke, 1961).
- 1891 november 5-én *megalakította* a Matematikai és Physikai Társulatot és annak folyóiratát a Matematikai és Physikai Lapokat, amelynek próbaszáma már júniusban megjelent.  
Miután már megmérte torziós ingájával a Rudasfürdőben a „Szt. Gellért-hegy vonzó erejét”, majd szentlőrinci kertjének lejtését, belekezdett első *igazi terepmérésébe*: a Vas megyei Celldömölk melletti Ság hegy jól kiszámítható vonzó hatásának megméréseivel teszteli ingáját.
- 1891/92-es tanévben a „budapesti kir. m. tudományegyetem” *rektora* volt.
- 1894 január 13-tól 1895. január 15-ig *vallásés közoktatásügyi miniszteri* tisztelet töltött be.  
Június 25-én megalapította az *Eötvös József Kollégiumot*.  
Október 25-én a Matematikai és Physikai Társulat által Eötvös tiszteletére ebben az évben alapított *matematikai és fizikai versenye* számára alapítványt tett Eötvös. A versenyt, a díjat Eötvösről nevezték el.
- 1897 május 9. *Vizsgálatok a gravitatio és a mágnesség köréből* c. értekezéseért megkapta az MTA 1897. évi *nagydíját* (előadás 1896. április 20., publikáció: Matematikai és Természettudományi Értesítő – XIV. 221–266, 1896.).
- 1900 A *Párizsi Világkiállításon* az Eötvös-ingáért *Süss Nándort* a kivitelezőt és Eötvös Lorándot a tervezőt nagydíjjal, aranyéremmel tüntették ki.  
A *Párizsi Nemzetközi Fizikakongresszuson* ismertette gravitációs és mágneses méréseit.
- 1901 *Gravitációs méréseket* végez a Balaton jegén.
- 1902-től kezdődően *gravitációs méréseket* végez mutatársaival a Kárpát-medencében.
- 1904 „Nagyjelentőségű munkásságát az uralkodó is elismerte. 1904-ben Ferenc József király kinevezte *valóságos belső titkos tanácsossá*, majd kitüntette a Pro Litteris et Artibus diszjervényével, a Ferenc József rend nagy keresztjével s főrendiházi tagsággal” – olvashatjuk a „Nagyméltóságú Dr Klebelsberg Kuno gróf m. kir. vallásés közoktatásügyi miniszter úrnak, a magyar matematikai és természettudományi kutatás megszervezőjének hódoló tisztelettel” ajánlott könyvben. (Nagy József /szerk./: Kiváló matematikusok és fizikusok, Bp., 1927.) (Az 1945 és 1990 közt kiadott Eötvös-irodalomban nem szerepelnek a fenti kitüntetések). Klebelsberg valóban megérdemli a tiszteletet, ugyanúgy, mint Nagy József, aki a középiskolásoknak készült könyvébe Archimedes, Newton, Kepler, Gauss mellé felvette Bolyai Jánost és Eötvös Lorándot.



- 1906 szeptember 16-án a Nemzetközi Földmérő Szövetség XV. kongresszusán *Budapest*en ismerteti gravitációs méréseinek eredményeit. A nemzetközi elismerés nyomán a kormány jelentős anyagi támogatást nyújt a további mérésekhez.
- 1907-től szaporodnak a gravitációs mérések.
- 1909 *Pekár Dezső*vel és *Fekete Jenő*vel közösen végzett vizsgálataival elnyerte a göttingai egyetem 1909. évi *Benecke*-díját **a tehetetlen és a súlyos tömeg arányosságának 1/200 000 000-nyi (= 0,000 000 005 =  $5 \cdot 10^{-9}$ ) pontossággal történő igazolásáért**. Ezzel megteremtette az Einstein-féle általános relativitás elmélet alapfeltevésének szilárd kísérleti bázisát. (Természetesen anélkül, hogy ezt tudta vagy akarta volna.)
- 1909-ben számol be a legújabb eredményekről a Nemzetközi Földmérő Szövetség XVI. kongresszusán *Londonban* és *Cambridge-ben*.
- 1911 Az *elismerések éve*: Szily-érmet kap a magyar Természettudományi Társulattól, kültagja lesz a berlini Porosz Királyi Tudományos Akadémiának, díszdoktorrá avatják a krakkói Jagello Egyetemen és a christianiai Norvég Királyi Frederic Egyetemen.
- 1912 A Nemzetközi Földmérő Szövetség XVII. kongresszusán beszámol az újabb gravitációs mérésekről *Hamburgban*.
- 1913 A Német Orvosok és Természetvizsgálók 85. közgyűlésén Bécsben 1913 szeptemberében Einstein gravitációs előadása után Eötvös tanártársa, az Einsteinnel egyidős *Zemplén Győző* (1879–1916) ismertette a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságára vonatkozó legújabb mérések eredményeit. A tényleges pontosság már  $5 \cdot 10^{-9}$ ; a hivatkozott, *1909-es angliai kongresszusi kiadványban közölt érték  $1 \cdot 10^{-8}$* .  
A Magyar Tudományos Akadémia Nobel-díjra terjesztette fel. Az ezévi díjat *Heike Kamerlingh Onnes* (1853–1926) holland fizikus kapta meg a szupravezetés felfedezéséért.
- 1914 Egykori munkatársa, *Lénárd Fülöp*, az MTA levelező tagja (1897), a pozsonyi születésű 1905. évi Nobel-díjas Eötvöst Nobel-díjra javasolta. Az ezévi díjat *Max von Laue* kapta röntgendiffrakciós vizsgálataiért.
- 1915 Megmászta a Lomnici csúcsot.
- 1916 A Kis-Kárpátokban és a Morva-mezőn munkatársaival petróleum után kutattak az Eötvös-ingával.
- 1917 május 10. A Matematikai és Fizikai Társulat 24. közgyűlésén ismertette a Földön mozgó testek súlyváltozására vonatkozó törvényét, az *Eötvös-effektust*. A súlyváltozás tényét a rezonancia-elven alapuló forgó mérleges berendezésével be is mutatta.



- 1917 november 22. Gróf Apponyi Albert kultuszminiszter előterjesztése alapján minisztertanácsi határozatban rögzítették, hogy Eötvös Loránd a közelgő 70. születésnapja után is ameddig csak akarja megtarthatja egyetemi tanszékét.
- 1918 január 5-én levelében *Einstein* arra kéri Eötvöst, tegyen javaslatot a potsdami Geodéziai Intézet megüresedett igazgatói állására.
- 1919 március 31. Már súlyos betegen értekezést küldött az *Eötvös-effektust* kimutató forgó mérlegéről az *Annalen der Physik* c. lapnak.  
 Április 8. A Puskin utcai Fizikai Intézetben *meghalt Eötvös Loránd*.  
 Április 11. A Kerepesi temetőben (ma Fiumei úti Nemzeti Panteon) Lukács György, Fröhlich Izidor, Bartoniek Géza és Pekár Dezső búcsúztatta.
- \* \* \*
- 1920 Az intézményt „*professzorom emlékére önhatalmúlág Báró Eötvös Loránd Geofizikai Intézetnek neveztem el*” (Pekár Dezső).
- 1921 májusában a *Mathematikai és Physikai Társulat* felvette alapítójának, Eötvös Lorándnak a nevét.
- 1928 május 16-án az MTA Eötvösnek ítélte „a 800 Pengős *Marczibányi mellékjutalmat*” az Eötvös-effektus kimutatását leíró posthumus megjelent dolgozatáért („*Kísérleti kimutatása annak a nehézségi változásnak, amelyet valamely a szabályos alakúnak felvett földfelületen keleti vagy nyugati irányban mozgó test a mozgás által szenved*. Math. és Term. tud. Ért. 37. 1920, 1–28.).
- 1930 május 7-én az MTA az *Unghváry László* alapítványi jutalmat pusztumusz Eötvösnek ítélte „a gravitációra vonatkozó kutatások és az Eötvös-féle torziós inga megszerkesztéséért”.
- 1935 *Renner János* az Eötvös-inga egy általa továbbfejlesztett változatával  $1/2\ 000.000.000 = 0,000\ 000\ 0005 = 5 \cdot 10^{-10}$  pontossággal bizonyította a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát.
- 1950 *Selényi Pál* (1884–1954) megismételte, majd továbbfejlesztette az Eötvös-hatást kimutató forgó mérleges kísérletet.  
 Az 1950–51-es tanévtől kezdődően a *budapesti tudományegyetem* (amely 1921-től *Pázmány Péter* nevét viselte) felvette egykori diákjának és professorának nevét.
- 1953 *Selényi Pál* bevezetőjével, az ő szerkesztésében az MTA megjelenteti Eötvös legjelentősebb munkáit németül.
- 1961 *R. H. Dicke* a Princetoni Egyetem Palmer Fizikai Laboratóriumában (Wigner Jenő munkahelyén) megismételte az Eötvös-kísérletet: „Meglepő módon a modern technika teljes igénybevételével Eötvös eredményeinek pontosságát csak egy ötvenes faktorral sikerült megjavítanunk” – írta (The



Eötvös Experiment, Scientific American, 205., p. 84–95). Dicke eszköze a Matematikai és Fizikai Intézet (Fine Hall) földszintjén, a könyvtár előtti kiállításon látható, felette az Eötvös-inga rajza és pontatlan hivatkozás Eötvös 1922-es, munkatársakkal közösen („with coworkers”) végzett méréseire.

1979 Bemutatták Eötvös egyik kettős torziós ingáját Washington D. C-ben, a mai nevén *Amerikatörténeti Múzeumban* a centenáriumi Einstein kiállításon. Az inga egy évig volt látható a múzeumban. Amerika szerte több, mint öt Eötvös-inga működött, működik a texasi olajmezőkön, különféle egytemeken.

1986 *Ephraim Fischbach* amerikai fizikus az Eötvös által vizsgált anyagok barionszáma (az atommagban található neutronok és protonok együttes száma) szerint sorbarendezte Eötvös mérési eredményeit, és szabályosságot talált. Egy közepes hatótávolságú (néhányszor tíz méter és néhány km közötti) „ötödik erő” létezésének bizonyítékát látta Eötvös mérési eredményeiben. Ez további nagy dicsőség lett volna Eötvösre nézve, de elmarasztalás Renner Jánost illetően, hisz az ő Eötvösnél pontosabbnak mondott mérései nem utaltak erre az ötödik erőre. Megbízhatunk Renner Jánosban és jutott már elég dicsőség Eötvösnek, nem kell neki még egy; a mérési eredményei közötti eltérés nem az ötödik erő, hanem a szükségszerűen fellépő mérési hibák következménye volt.

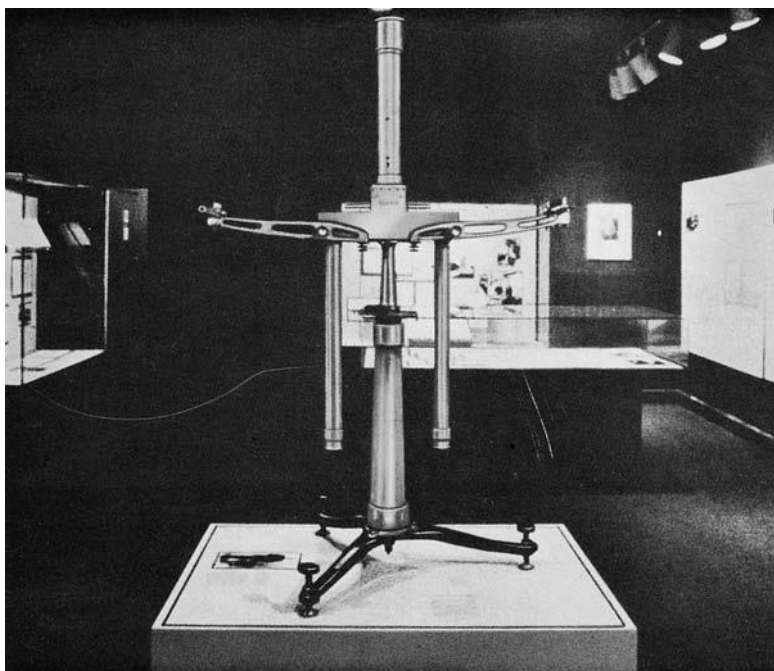


**Ifj. Renner János (1889–1976)**



**Pekár Dezső (1873–1953)**





**Eötvös-íng Washington D. C.-ben, az Amerikatörténeti Múzeumban**  
 Eötvös torsion balance in Washington D. C. at the Museum of American History

2488 Registrar No.

NATIONAL MUSEUM of HISTORY and TECHNOLOGY  
 SMITHSONIAN INSTITUTION  
 Washington, D.C. 20560

**AGREEMENT FOR INCOMING LOAN**

Division of Electricity and Modern Physics  
 (unit)

from: Országos Műszaki Múzeum (Museum for Science and Technology)  
 (name of lender) Éva Vámos, Curator  
 1117-Budapest, XI., Kaposvár Utca 13, Hungary 453-550, or 453-559  
 (address) (telephone)

In accordance with the conditions printed on the reverse the objects listed below are borrowed for the following purpose:  
 "Albert Einstein, 1879-1979"

for the period December, 1978 to March, 1980  
 (from estimated time objects leave lender's custody until their return and receipt by lender; see "Shipping" below)

Objects	Description (please include size, materials, and a brief report of condition; and attach a recent photo if possible)	Value
Torsion balance	Constructed in 1908 for L. V. Eötvös and used by him in experiments on the equivalence of gravitational and inertial mass. H 207 cm, L 138 cm, W 90 cm.	\$100,000.00

**Az Eötvös-íng kölcsönzési bizonylata (1978)**  
 Agreement for incoming loan



Hoch verehrter Herr Kollege!

Durch das Ableben von Herrn Prof. Helmert ist die Stelle des Direktors am Potsdamer geodätischen Institut vakant geworden. Es ergibt sich daraus für die Akademie, die Universität und das Ministerium die verantwortungsvolle Aufgabe, einen Nachfolger zu suchen. Verschiedene Kollegen haben mich nun gebeten, von sachkundiger und nicht interessierter Seite ein Gutachten einzuholen. Es scheint mir, dass Sie, hochgeachteter Herr Kollege, der einzige sind, auf dessen Meinung wir in dieser Angelegenheit Gewicht legen sollen; ich bitte Sie daher, mir Ihren Rat zukommen zu lassen.

Ohne Ihrer Äusserung von Verdugsten vorzugreifen, zu wollen, bitte ich Sie doch, in Ihrem Schreiben <sup>an</sup> auf die Herren

Schumann (Wien)

Wiesbert (Göttingen)

Kudger

Hohlschütter } (Potsdam)

Schwegler

irgendwie zu sprechen zu kommen, weil ~~sich~~ die Behörden ~~getogen~~ ~~thats~~ auf diese Männer bereits aufmerksam gemacht worden sind.

Bemerkungen über die wissenschaftliche Bedeutung jedes der drei letztgenannten Herren wären uns auch in dem Falle erwünscht, dass dieselben neben den beiden erstgenannten für den zu besetzenden Posten nicht in Betracht zu ziehen sind.

Ihrer hochgeschätzten Antwort mit grossem Interesse entgegensehend bin ich mit ausgesprochener Hochachtung

Ihr ganz ergebener

H. Günster

Haberlandstr. 5

Berlin - Schöneberg.



## Einstein Eötvöshöz írt levele

A letter from A. Einstein to L. Eötvös

1918. I. 15.

Nagyrabecsült Kolléga Úr!

Helmert professzor úr elhunya miatt megüresedett a potsdami geodéziai tanszék igazgatói állása.

Ebből adódik az akadémia, az egyetem és a minisztérium felelősségteljes feladata, az utódlás megoldása. Különböző kollégák megkértek engem, hogy szerezzem be a tudományos kutatók és más, nem érdekelt személyek szakvéleményét.

Nagyrabecsült Kolléga Úr, nekem úgy tűnik, hogy Ön az egyetlen, akinek a véleményére ebben az ügyben figyelemmel kell lennünk; ezért kérem Önt adjon tanácsot. Anélkül, hogy a legcsekélyebb mértékben befolyásolnám, mégis kérem Önt, hogy az alább felsorolt urakról is írjon véleményt:

SCHUMANN (Wien)

WEICHERT (Göttingen)

KRÜGER

KOHLSCHÜTTER (Potsdam)

SCHWEIDER

Ők a szóba jöhető személyek, mivel rájuk hívták fel a hatóságok figyelmét. Különösen az utóbbi három úrról alkotott tudományos véleményét várjuk, mivel az első két személy a betöltendő állásban nem jöhet szóba.

Nagy érdeklődéssel várom az Ön nagyrabecsült válaszát. Megkülönböztetett tisztelettel az Ön mindenre kész híve:

A. Einstein  
Huberlund str. 5.  
Berlin-Schöneberg

5. I. 18.

Dear and Honoured Friend,

Following the death of Professor Helmert, the post of director of the Potsdam Institute of Geodesy is vacant. The Academy University and Ministry are responsible for finding a successor. Several of my colleagues have asked me to obtain an objective opinion from someone who is eminent in this field. It seems to me honoured Colleague, that you are the only person whose opinion carries sufficient weight in this matter. It is for this reason that I am regnesting you to advise us.

Without wishing to prejudice your view to the smallest degree. I would be grateful if you could include in your assessment to following gentlemen:

Schumann (Vienna)

Wiechert (Göttingen)

Krüger (Potsdam)

Kohlschütter (Potsdam)

Schweydar (Potsdam)

since they have already attracted the attention of the authorities. Observations on the scientific suitability of the last three would be welcome, even if the first two cannot be considered for the post.

I anticipate your highly esteemed answer with the greatest possible interest, and remain your very devoted

Einstein  
Haberland str. 5.  
Berlin-Schöneberg





### **Emléktábla egykori iskolájában**

Memorial plaque at his secondary school in Budapest



### **Az Eötvös Társulat Selényi-érme (1964)**

Selényi Medal of the Eötvös Loránd Physical Society



# Life of Loránd Eötvös

## Chronicle with Commentary

1848 Born on July 27.

Official records indicate that Loránd Eötvös was born in Buda in the Svábhegy neighborhood of the Krisztinaváros district. However, the birth might have taken place at the Eötvös villa in the main building (no longer standing), next to which a smaller house (currently the *Karthauss Lodge* at 14 Karthausi Street in the XII District of Budapest) was built by his father, the celebrated writer and politician József Eötvös. (The photograph was taken before 1898.) Notice of Loránd's baptism was recorded on August 5 1848 in the registry still to be found at the rectory of the Parish of Krisztinaváros (1 Mészáros Street, I District). The entry on page 150 of the register indicates that Loránd's given names were "Loránd Ágoston Ignác Albert József" (among these names are those of his ancestors and godfather) and that he was the legitimate son of "Baron József Eötvös and Agnes Rosty, of the Roman Catholic faith and resident in the Krisztinaváros district of Buda." The engraving, composed by Károly Rusz sometime before 1866, shows a view from the street of the house in which Eötvös is assumed to have been born; the same house as seen from the courtyard is depicted in the picture made on the basis of a water color by Gusztáv Keleti (one of Eötvös's tutors). Letters from July and August of 1848 at our disposal do not mention Eötvös's place of birth. We know that his father owned a residence in Krisztinaváros behind the Buda Castle (in the Schreiber House at 106 Szent Gellért Street). However, in a letter of July 28, 1868 written to his son, then residing in Heidelberg, on the occasion of his twentieth birthday, József Eötvös recalled the "unruliness of the people within the city" around the time of his son's birth and indicated that he had thought it best to send both his wife and the noted surgeon János Balassa (1814-1868) to his half-finished villa. " ... towards dawn," the letter continues, "Balassa informed me that your mother was out of danger, at which point I kissed her and hurried off to the city."

1860–65 Studies at the Piarist Gymnasium in Pest.

An embossed marble plaque now commemorates Eötvös's attendance at the school.



- 1865 Begins studies in law and political science at Pest University.
- 1867 At the suggestion of Károly Than, Professor of Chemistry, enrolls at the University of Heidelberg in the fall. Over the course of three semesters, he acquires practical laboratory experience and attends lectures of Kirchhoff, Helmholtz, Bunsen, Königsberger, and Hesse.
- 1869 On the advice of Kirchhoff, spends the second semester of the 1868-69 academic year at the University of Königsberg in order to learn from the theoretical physicist Franz Neumann “how to conduct experiments, or rather, how to pose questions in such a way that nature will provide an answer” (as Eötvös wrote his father in a letter of January 30, 1869). Initially, Eötvös was alarmed by the sheer volume of mathematics employed by Neumann, Richeliot, and Luther. Later, however, the influence of Neumann led Eötvös to conceive a new technique for the measurement of surface tension, “which Fr. Neumann praised” (K. Tangl, “*Vizsgálatok a kapillaritásról,*” *Báró E. L. Füzet*, 1918). Perhaps it was *praise* that Eötvös missed in Heidelberg?
- Beginning in the fall, recommences studies in Heidelberg and prepares for his doctoral examination. Eötvös’s experiments in the area of phosphorescence fail to achieve significant results, for which reason he would have preferred to conduct experimental work in Pest, Paris, or Berlin. By this time doctoral students were obligated to undertake independent research, in contrast to earlier practice, which required them merely to compile and analyze published scholarship. It is quite interesting to note that Bunsen and Kirchhoff did not provide Eötvös with helpful direction, either because of their unwillingness or their inability to do so.
- 1870 On July 8 Eötvös – without submitting a dissertation – sits his doctoral examination in natural science as principal subject and chemistry and mathematics as ancillary subjects before Gustav Kirchhoff, Leo Königsberger, and Robert Bunsen. He receives a mark of *summa cum laude*. Since 1992, this event and Eötvös’s studies at Heidelberg in general are commemorated by a bronze tablet bearing his likeness which hangs at the entrance to the former Natural Sciences Building of the University of Heidelberg (the creator of the tablet, the sculptor Sándor Kiss, prepared a copy for the Eötvös School in Celldömölk and donated the original molding cast to the Physics Department of Berzsenyi College).
- 1871 Receives the post of lecturer in advanced natural sciences at the University of Pest on March 14.



- 1871 On April 17 Eötvös delivers his first lecture to *three* university students (among them Dezső Pekár) and a number of auditors curious to see baron and scientist in one person.
- 1872 Named University Professor of Experimental Physics on May 10.
- 1873 Elected a corresponding member of the Hungarian Academy of Science on May 21.
- Prior to his election, Eötvös had delivered only one public lecture before an audience of scholars – “*On Laws of Distant Effects as Implied by Oscillation Theory*” (abstracted in *MTA Értesítő [Bulletin of the Hungarian Academy of Sciences]* V, 1871, pp. 207-212) – which he read at a sitting of Section III of the Hungarian Academy of Sciences on June 17 1871. Apart from this, he had also contributed reports and translations to the *Természettudományi Közlöny [Natural Sciences Bulletin]*. In later years, Eötvös came to regard these early publications in theoretical physics as insignificant.
- 1874 From October 19 lectures on theoretical physics and makes use of the laboratory supervised by Ányos Jedlik. In general, Jedlik was not fond of the “instructing” teachers, who simply used the laboratory without trying to improve it. However, he quickly developed a grandfatherly affection for Eötvös, on whom he surely exerted an influence during their eight years of collaboration. We venture to assume that Jedlik succeeded where Kirchhoff and Bunsen had failed: under his influence, Eötvös became deeply involved in experimental work.
- 1878 Named Professor of Natural Sciences to succeed Ányos Jedlik, who retires at the age of 78.
- 1879 On January 19 delivers his inaugural lecture at the Hungarian Academy of Sciences – “*Data Pertaining to Electrostatic Theory.*” The topic of Eötvös’s lecture had been suggested by Jedlik; Eötvös and Jedlik had conducted experiments together, employing the latter’s “lightning rack,” ancestor of the cascade generator.
- 1881 Attends the International Electricity Congress in Paris as the official Hungarian representative. Eötvös investigates French education and discovers the model for the establishment of today’s Eötvös College. The French government decorates him with the Cross of the Legion of Honor.
- 1883 Elected as ordinary member of the Hungarian Academy of Sciences. Construction of the new Physics Institute on Eszterházy Street (now Pushkin Street) gets underway.
- The Physics Institute began operations in 1886. Eötvös received a flat in the building.



- 1885 On January 19 delivers his second inaugural lecture at the Hungarian Academy of Sciences – “*Surface Tension of Fluids and Its Relation to Critical Temperatures.*”
- 1886 A Hungarian language paper, in which Eötvös disclosed the Eötvös Law (as it was eventually called) appeared in *Mathematikai és Természettudomány Értesítő* IV, 1886, pp. 34-41.  
Reports of the **Eötvös Law** appear in foreign languages.
- 1888 Begins work on the measurement of gravity.  
On May 3 is elected President of the Hungarian Academy of Sciences. Succeeding Ágoston Trefort, Eötvös serves in this position for the following sixteen years until October 9 1905.
- 1890 Publishes “*The Earth’s Attraction on Different Substances,*” “his first significant work on gravitation (abstract in *Akadémiai Értesítő* I, 1890, pp. 108-110), at the age of 41.” (R. H. Dicke 1961)
- 1891 Founds the Mathematics and Physics Society [Mathematikai és Fizikai Társulat] and its periodical *Chronicle of Mathematics and Physics* [*Mathematikai és Fizikai Lapok*].  
After using a torsion balance to measure the gradient of his garden in Szentlőrincz and the “attractive force of Szent Gellért Hill” at the Rudas Baths, he commences his first true terrain measurement: he tests his balance by measuring the readily calculable attractive force of Ság Mountain, located in the vicinity of the Vas County town of Celldömölk.
- 1891–92 Serves as rector of the University of Budapest.
- 1894 From January 13 until January 15 of the following year serves as Minister of Religion and Public Education.  
On June 25 founds the József Eötvös College.
- 1897 On May 9 receives the Annual Grand Prize of the Hungarian Academy of Sciences for his treatise “*Investigations in the Fields of Gravity and Magnetism.*”
- 1900 Eötvös and Nándor Süss, as designer and manufacturer respectively of the Eötvös Balance, are awarded the Grand Prix (a gold medal) at the World Exhibition in Paris.
- 1901 Carries out gravitational measurements on the ice sheet of Lake Balaton.
- 1902 Together with colleagues begins a series of gravitational measurements in the Carpathian Basin.



- 1904 “The sovereign also recognized his immensely significant work. In 1904 Emperor Francis Joseph named [Eötvös] Privy Councillor and awarded him the Pro Litteris et Artibus honorary badge, the Large Cross of the Order of Francis Joseph, and membership in the Upper House.” The above remarks can be found in a book dedicated “with respect and admiration to the Right Honorable Count Dr. Kuno Klebelsberg, Minister of Religion and Public Education of the Kingdom of Hungary, organizer of Hungarian research in mathematics and natural science” (József Nagy, ed., *Kiváló matematikusok és fizikusok* [*Outstanding Mathematicians and Physicists*], Budapest, 1927). (The honors are not mentioned in literature on Eötvös published between 1945 and 1990.) Klebelsberg was worthy of respect indeed, as was József Nagy. Nagy’s book was addressed to secondary school pupils and included sections devoted to János Bolyai and Loránd Eötvös, alongside discussions of Archimedes, Newton, Kepler, and Gauss.
- 1906 On September 16 reports the results of his gravitational measurements to the Fifteenth Congress of the International Surveyors Association, meeting Budapest. In the wake of international recognition, the government extends significant material support for further measurements.
- 1907 From this year on, undertakes more and more gravitational measurements.
- 1909 Receives the Benecke Prize awarded by the University of Götting for verifying **the proportion of inertial mass to gravitational mass** to a precision of  $1/200,000,000$  ( $=0.000000005=5\cdot10^{-9}$ ) in a series of experiments conducted with *Dezső Pekár* and *Jenő Fekete*. This accomplishment provided a solid experimental basis for fundamental assumptions of Einstein’s General Theory of Relativity. Reports on his latest findings to the Sixteenth Congress of the International Surveyors Association, meeting in London and Cambridge.
- 1911 The year of recognitions: Eötvös receives the Szily Medal of the Hungarian Natural Science Society, is named an honorary fellow of the Berlin Royal Prussian Academy of Sciences, and is awarded honorary doctorates by Jagellonian University of Krakow and the Royal Norwegian Frederick University.
- 1912 Reports on his latest gravitational measurements at the Seventeenth Congress of the International Surveyors Association, meeting in Hamburg.
- 1913 Following Einstein’s lecture at the 85<sup>th</sup> General Meeting of German Physicians and Natural Scientists in Vienna, Eötvös’s colleague, *Győző Zemplén* (1879-1916) reports on the most recent measurements of the proportion of inertial to gravitational mass. Precision now  $5\cdot10^{-9}$ .



- 1913 The Hungarian Academy of Sciences nominates Eötvös for a Nobel Prize. The prize in that year is awarded to the Dutch physicist *Heike Kamerlingh Onnes* (1853-1926) for the discovery of superconductivity.
- 1914 The 1905 Nobel Prize winner and corresponding member of the Hungarian Academy of Sciences *Fülöp Lénárd*, born in Bratislava but now a professor in Germany, nominates his former colleague Eötvös for the Nobel Prize. The prize that year is awarded to *Max von Laue* for his studies of X-ray diffraction.
- 1915 Scales the mountain at Lomnice.
- 1916 Together with colleagues, searches for petroleum in the Little Carpathians and Marchfeld.
- 1917 At the 24<sup>th</sup> General Meeting of the Mathematics and Physics Society on May 10, reports on laws relating to changes in weight of bodies in motion of to the east or west on the surface of the Earth, (the **Eötvös Effect**), using for purposes of demonstration the rotating balance based on the resonance principle.  
On November 22, at the recommendation of Count Albert Apponyi, Minister of Education, the Council of Ministers resolves that Eötvös be permitted to retain his university chair following his upcoming 70th birthday for so long as he wishes.
- 1918 In a letter of January 05, Einstein solicits Eötvös's counsel in the selection of a director for the Potsdam Geodesic Institute.
- 1919 On March 31 the seriously ill Eötvös sends to the *Annalen der Physik* an assessment of the rotating balance which displays the Eötvös Effect.  
Dies on the grounds of the Physics Institute on Pushkin Street on April 8.  
On April 11 György Lukács, Izidor Fröhlich, Géza Bartoniek, and Dezső Pekár pay their last respects at the Kerepesi Cemetery (now the National Pantheon on Fiumei Street).
- \* \* \*
- 1935 Employing an improved version of the Eötvös Balance of his own design, *János Renner* determines the proportionality of inertial and gravitational masses to a precision of  $1/2,000,000,000=0.0000000005=5\cdot 10^{-10}$ .
- 1950 *Pál Selényi* (1884-1954) repeats and improves the rotating balance experiment which demonstrate the Eötvös Effect.  
At the beginning of the 1950-51 academic year the University of Budapest (which had borne the name of Péter Pázmány since 1921) is renamed in honor of its former student and professor.



- 1953 *Pál Selényi* edits with his foreword the most important works of Eötvös in German (Hungarian Academy of Sciences, Budapest).
- 1961 *R. H. Dicke* repeats the Eötvös experiment at the Palmer Physics Laboratory (Jenő Wigner's former workplace) of Princeton University. "Surprisingly, utilization of the most modern equipment succeeded in improving on Eötvös's results by a factor of fifty," reported Dicke ("The Eötvös Experiment", *Scientific American* 205, pp. 89-95).  
The exhibit which stands in front of the library on the ground floor of the Mathematics and Physics Institute (Fine Hall) at Princeton University displays Dicke's instrument, a drawing of the Eötvös balance, and an inaccurate reference to the measurements carried out by Eötvös and his co-workers in "1922."
- 1979 In connection with the centennial of Einstein's birth, one of Eötvös's duplex torsion balances goes on year-long display for a year at the National Museum of American History in Washington D.C.  
In America more than five Eötvös balances have been used in various universities and the Texas oilfields.
- 1986 In reanalyzing Eötvös's results on the basis of the baryon numbers of the substances he measured, the American physicist Ephraim Fischbach detected a certain regularity. Fischbach discovered evidence for a "fifth force" operating at a certain long range (between some tens of meters and a few kilometers) in Eötvös's measurements. This would certainly enhance Eötvös's glory, but at the expense of János Renner, in whose more precise measurements nothing points to the existence of a fifth force. We can trust János Renner, and Eötvös does not require more laurels – the deviations in the measurements were the result not of a fifth force but of inevitable errors which arose in the course of measurement.



Inkom den 5. 1 1914.

Heidelberg 1. Jan. 1914.  
Neuenheimerlandstr. 2

An das Nobel-Comité für Physik.

Für 1914 erlaube ich mir vorzuschlagen

Baron Roland Eötvös

Professor der Physik an d. Univ. Budapest,

für seine hervorragende Leistungen in Bezug auf fundamentale  
Fragen der Gravitation und der Molekularkräfte, die er mit Er-  
sinnung neuer Methoden in unübertroffen exacter Weise durchforscht  
hat.

(Es würde dadurch der Preis auch einmal nach Österreich-  
Ungarn kommen).

P. Lenard.

**Lénárd Fülöp Nobel-díjra javasolja Eötvöst**  
Philipp Lenard recommends Eötvös for Nobel Prize

Heidelberg, 1914. jan. 1.  
Neuenheimerlandstr. 2.

Heidelberg, 1. Jan. 1914.  
Neuenheimerlandstr. 2.

*A Fizikai Nobel-Bizottságnak*

*Engedtessek meg nekem, hogy 1914-re*

*báró Eötvös Lorándot,*

*a Budapesti Egyetem fizika professzorát ja-  
vasoljam, a molekuláris erők és a gravitáció  
alapvető kérdéseire vonatkozó kiemelkedő  
teljeítményéért, amelyeket új módszerek alkal-  
mazásával felülmúlhatatlan pontossággal vitt  
véghez.*

*(Ezáltal a díj egyszer Ausztria-Magyaror-  
szágra jutna.)*

*Lénárd F.*

*To the Nobel-Comité for Physik*

*Allow me please to suggest for 1914*

*Baron Roland Eötvös*

*Physics Professor at the Budapest  
University, for his outstanding results in the  
field of gravitation and molecular forces, for  
his new methods which he used with an  
unsurpassable manner.*

*(The preis would go ones to Austria-  
Hungary)*

*P. Lenard*



# Mester és tanítvány

Az életrajzi vázlat kiegészítésében említettük már, hogy Eötvös nagyon sokat tanulhatott Jedlikről. Ezt a későbbiekben ismertetésre kerülő Eötvös-eszközök felépítésének és működésének elemzésekor konkrétan is megmutatjuk majd. Most csupán a két tudós-tanár új felfedezései és a szemléltető eszköz-készítési gyakorlata közötti kapcsolatról szeretnénk szólni.

Jedlik Ányos eszközei alapvetően *szemléltető eszközök* voltak, amelyek közül több (önmagában) teljesen új tudományos eredményt jelentett. Eötvösnél egymásra épült az új tudományos eredményt adó kutató eszköz és a diákokat oktató szemléltető eszköz. Azonban nála is több esetben időben megelőzte az egyszerű demonstrációs eszköz a későbbi precíz műszert.

Celldömlőkön az Eötvös Loránd Általános Iskola főbejárata előtt áll Bányai József 1985-ben készült térplasztikája: az Eötvös-inga és az Eötvös-fej alatt egy Eötvös-idézet:

„MŰLÉKONY ÉLETÜNKBEN ARRA TÖREKSZÜNK, HOGY VALAMI  
MARADANDÓT ALKOSSUNK.”

Eötvös Loránd ezt a *maradandót* a fizikai mennyiségek finom *változásainak* kimutatásával alkotta meg. Mérté a felületi feszültség változását a hőmérséklet és az anyagi minőség függvényében, a Föld gravitációs és mágneses terének a földrajzi hely szerinti változását és a testek súlyának változását a Földhöz viszonyított sebességük függvényében. Ő, aki *maradandót* akart alkotni, világosan látta, hogy

„VÁLTOZATLANUL ÉS MOZDULATLANUL SEMMI SEM MARAD EZEN  
A VILÁGON.”

E szavait a hálás utódok szintén kőbe vészték. Ajkán az Eötvös Loránd Általános Iskola bejáratának baloldalán a Eötvös relief alatt olvasható a fenti gondolat. Ugyanez – egy oktávval feljebb – a költő Berzsenyi Dániel fogalmazásában:

„Minden csak jelenés; minden az ég alatt,  
Mint a kis nefelejcs, enyész”



# Master and Pupil

As touched upon in the foregoing chronicle, Eötvös was able to learn a great deal from Jedlik. We will have occasion to treat this topic in more detail below when we analyze the construction and operation of Eötvös's scientific instruments. At this point we would merely like to mention the connection between the discoveries made by the two teacher-scientists and their practice of designing and constructing instruments for purposes of demonstration.

Although Ányos Jedlik's instruments were basically *visual aids*, in themselves they represented significant scientific discoveries. Eötvös's instruments served both teaching and research purposes. In many cases instruments which he devised for purposes of mere demonstration anticipated the more precise designs of the future.

Before the main entrance to the Loránd Eötvös Elementary School in Celldömölk stands a sculpture by József Bányai on which, beneath the figures of Eötvös's head and the Eötvös balance, one can read the following words of Eötvös: "IN THIS FLEETING LIFE OF OURS, WE STRIVE TO CREATE SOMETHING WHICH WILL ENDURE." With his research of subtle fluctuations in physical quantities Loránd Eötvös succeeded in creating something enduring. He measured the fluctuation of surface tension as a function of temperature and material quality, local variations in the Earth's gravitational and magnetic fields, and variations in the weight of bodies moving on the Earth. Wanting to create something enduring, he clearly saw that: "NOTHING REMAINS MOTIONLESS AND IMMUTABLE IN THIS WORLD." These words of Eötvös have also been inscribed in stone. They can be found beneath the relief portrait of Eötvös hanging to the left of the entrance to the Loránd Eötvös Elementary School in Ajka. Similar sentiments are voiced in the verse of the poet Dániel Berzsenyi:

All is apparition  
Everything under heaven,  
Like a little forget-me-not, expires.



# 1. A felületi feszültség változása

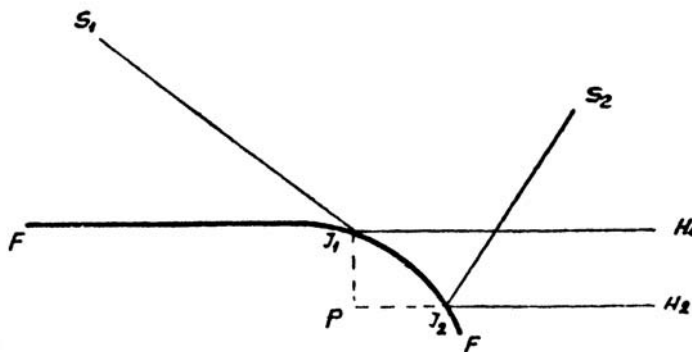
*Eötvös-törvény – Eötvös-féle kapilláris forgó készülék*

## 1.1. Az Eötvös-féle reflexiós módszer

Az 1869. júniusában kigondolt, Franz Neumann által is megdicsért módszert ténylegesen csak 1875-től kezdve használta Eötvös. A tanár úr olyan szépen, érthetően írja le módszerét, hogy nem szabad azt más szavakkal visszaadnunk.

*„I. Új módszer a kapillaritási állandó meghatározására*

*A kapillaritási állandó meghatározására 1875 óta használlok egy módszert, melyet reflexiós módszernek fogok nevezni. Ez lényegében a következőkből áll. A folyadék FF felületére az  $S_1$  és  $S_2$  fényforrásokból kiinduló két sugárnyaláb, az  $S_1J_1$  és  $S_2J_2$  esik, amelyek ezen visszaverődve egy katetométer vízszintesen beállított távcsövébe jutnak. A távcső látómezejében két vízszintes fénycsík jelenik majd meg, amelyek az egyik, illetve a másik beeső fénynyalábból származó sugarak vízszintes irányú visszaverődései. A felület hajlását a  $J_1$  és  $J_2$  pontokban meghatározhatjuk a beeső sugarak irányából a mér-tani reflexiós törvény segítségével. Ezen pontok függőlegesen mért  $J_1P$  távolságát katetométerrel mérjük meg. Ezen, megfigyelés útján meghatározott mennyiségek segítségével, az elmélet által az illető felületre megadott egyenletekből kiszámítható a kapillaritási állandó.”*



**Az Eötvös-féle reflexiós módszer**

The Eötvös reflection method



A kapilláris állandó ( $a^2$ ) a kapilláris (hajszál) csövekben a felemelt (vagy lesüllyesztett) folyadékoszlop magasságának és a cső sugarának a szorzatával egyenlő, de kifejezhető a felületi feszültség ( $\alpha$ ), a folyadék ( $s$ ) és gőzének ( $\delta$ ) sűrűségével, valamint a nehézségi gyorsulással ( $g$ ) is:

$$\alpha = \frac{a^2}{2} (s - \delta)g.$$

„Ezt a módszert némely speciális vizsgálatnál oly módon változtattam, hogy a katetométer helyett vízszintesen eltolható, függőleges távcsövet használtam, és ezzel mértem a két pont vízszintes távolságát, amelyből az a kapillaritási állandó kiszámítható.

1. A módszer független az illeszkedési szögre vonatkozó bármely feltevéstől és a szilárd edénnyel nedvesítési módjától is.

2. Ugyanazon mérések segítségével olyan folyadékokat is vizsgálhattam, amelyek leforrasztott üvegedényekben lévén csak a saját gőzükkel érintkeztek. Ezzel elértem a felületi feszültség eddig alig sejtett állandóságát, mivel megszüntettem a kapilláris jelenségek megfigyelésének legnagyobb akadályát.

Ezen edényekben lévő víz felületi feszültségére vonatkozó mérések ugyanazon a hőmérsékleten évek múlva is a kapillaritási állandónak ugyanazon értékét adták.

3. Ez a módszer lehetővé tette a kapillaritási állandó változásának a figyelemmel követését olyan hőmérsékleteken is, amelyek jóval felette vannak a folyadék forráspontjának, így például alkohol esetében 236 °C-ig, etiléter esetében 190 °C-ig. Ugyancsak lehetséges volt cseppfolyósodott gázok kapillaritási állandóját, így a szénsavét, a kénsavét és másokét meghatározni.”

Két részletet mutatunk Lénárd Fülöp E5 jelű laborjegyzőkönyvéből, amelyet Eötvös mellett, Budapesten készített. (Lénárd valamennyi mérési jegyzőkönyve megtalálható Münchenben a Deutsches Museum Archivumában)

Az elsőn az eszközének rajza és egy kapillaritási állandó meghatározása látható (1886. szept. 28., német szöveggel). A másodikon egy október 16-i mérés. Az első lapot leszámítva a budapesti mérések leírása magyar nyelvű.

## 1.2. Az anyagi minőség befolyása a felületi feszültségre

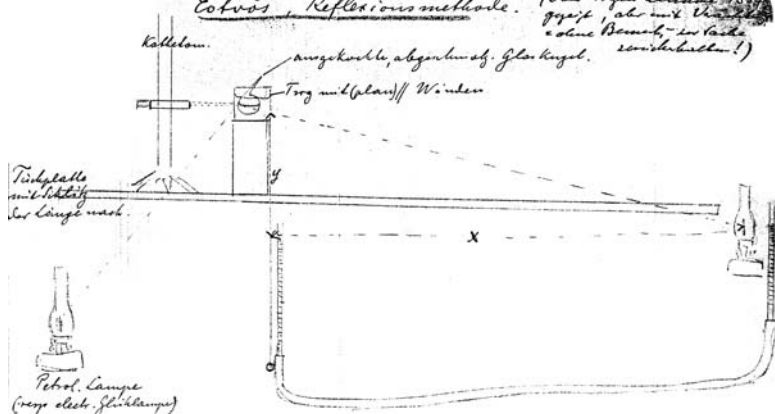
Eötvös először elméleti úton az általános gáztörvénnyel analóg összefüggést keresett a folyadékokra. Van der Waals gondolatait felhasználva vizsgálta azt, hogy az anyagi minőség milyen befolyással van a felületi feszültségre. Kereste a kapcsolatot a mo-



2 was better

Philipp Lenard, Budapest 1886

Eötvös, Reflexionsmethode. (Bis Nyen Curio 1834  
ausg. abm. 4. V. 22)



reimburs Refl



(gewöhnl. rother Gerichtstisch)

29. Septemb. 1886

Kugel will ganz luftfrei, zugenthalten

Ablösungen am Kathodenum.

Under the floor  
 floor  
 57'051 mm 57'035 57'040  
 54'068 54'056 54'046  
 Diff 3'047 3'021 3'006  
 Mittel 3'015 mm

$$x = 246^{\circ}3 \text{ mm}$$

$$y = 243$$

Äußerer Umfang der Glaskugel bei der Oberflache  
= 243.5 mm

Derivs  $a = 3.868 \text{ mm}$  (all  $a$  when  $\text{Corr. } \alpha/\mu = \infty$ )

Oct 16 105

Meyint refl. moderate.

Le metlière a 94 otaloni tek ki'c'ot nek, vojjon kogg vailbonik d a baidet <sup>nam</sup>  
linen <sup>galden</sup> ha nchat levjon <sup>fo di</sup> itonin



felter also 11<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> Temp. mindig meliora a levegő  
 10<sup>o</sup> 23<sup>5</sup> 11<sup>h</sup> 35<sup>m</sup> a.m. minden  
 8<sup>1</sup> 33<sup>0</sup> 3 -  
 6<sup>1</sup> nem meglehetősen  
 260 45<sup>8</sup> 11<sup>h</sup> 45<sup>m</sup>  
 Finis: 11<sup>h</sup> 48<sup>m</sup>  
 11<sup>h</sup> 53<sup>m</sup> Földön levegő, fű meglehetősen  
 Földön meglehetősen  
 12<sup>h</sup> 10<sup>0</sup> 11<sup>h</sup> 58<sup>m</sup>

## Részletek Lénárd Fülöp budapesti E5 laborjegyzőkönyvéből

### Details of E5 laborbook of Ph. Lenard recorded in Budapest



lekulasúly és a felületi feszültség között. Arra az eredményre jutott, hogy *megfelelő hőmérsékleteken* az  $\alpha \cdot v^{2/3}$  kifejezés hőmérséklet szerinti első differenciálhányadosa – azaz a *változás mértéke* – minden folyadékra ugyanaz. Az  $\alpha \cdot v^{2/3}$  kifejezésben  $\alpha$  a folyadék felületi feszültsége, „ $v^{2/3}$  annak a felületnek az átlagos értéke, amelyet 1 molekula borít”. Az  $\alpha \cdot v^{2/3}$  szorzatot *molekuláris felületi energiának* nevezzük, ugyanis ennyi munkát kell végeznünk, ha a folyadék felületét akkora területtel akarjuk növelni, amekkorát egy molekula borít.

Eötvös az elméleti eredmény birtokában ellenőrizni akarta, hogy igaz következtetésre jutott-e. Egy korabeli tudománytörténész Eötvös hibájául róta fel, hogy eredményéhez részben elméleti úton jutott. A történetíróknak semmi sem jó. Jedliket azért bántják, mert nem használt egyenleteket, Eötvöst pedig azért, mert használt. Általában a magyar történetírókkal az a baj, hogy nem értékelik a magyar természettudományi eredményeket. Vagy fel sem ismerik az eredmények világra szóló jelentőségét, vagy ha *felismerik*, akkor nem akarják *elismerni*, dicsérni.

Az elméleti fizikus és kiváló tanár, *Károlyházi Frigyes* professzor képviseli a helyes mértéket: sem elmarasztalás, sem túlzott, hamis pátoz: »”teljes erővel a kapillaritás tüneményeinek tanulmányozására adja magát”. A hetvenes évek közepétől 1886-ig foglalkozik a témával, amikor is az elért eredményeket végül idegen nyelven is közzé teszi az *Annalen der Physik* című folyóiratban, egy mindössze 10 oldalas dolgozatban. Ez az időszak már megmutatja Eötvös kísérletező génuszát, elszántságát és kitartását, valamint azt a „belső prancsot”, hogy csak föltétlenül megbízható eredményekkel álljon elő.« – mondta Károlyházi 1998. október 14-én az Eötvös-teremben, amikor a Puskin utcai épülettől búcsúztak a fizikusok (Károlyházi Frigyes: *Hungarae gentis decus*, *Fizikai Szemle*, 48, 397–403.).

### 1.3. Az Eötvös-törvény

Eötvös kísérletei nemcsak azt bizonyították, hogy a molekuláris felületi energia hőmérséklet szerinti változása – a hőmérséklet szerinti első differenciálhányadosa – valamennyi *egyszerűen összetett* folyadékra ugyanakkora, hanem az is kiderült, hogy ez az állandó érték független a hőmérséklettől. (Eötvös *egyszerűen összetettnek* azokat a folyadékokat nevezi, amelyeknél a folyadék és a gáz molekulái egyenlő tömegűek, azaz gramm-molekula-tömegük megegyezik, tehát folyadék állapotban nem asszociálódnak a molekulák. Így *nem érvényes* a törvény vízre, alkoholra, a zsírsavakra.) Ismét Eötvöst idézzük:



„E szerint a következő tételre jutottunk: A  $\frac{d}{dt}(\alpha \cdot v^{2/3})$  hányados valamennyi egyszerűen összetett folyadékra állandó értékkel bír, mely a hőmérséklettől független, és pedig legalábbis abban a hőmérsékleti körben, mely az abszolút nullpont és a kritikus temperatura középhőmérsékleténél magasabb. Állandóságról itt természetesen csak annyiban van szó, amennyiben az eddigi megfigyeléseim pontossága mellett megállapítható; nincs kizárva az az eset, hogy még pontosabb megfigyelések, nevezetesen a tágabb hőmérsékleti határok között végzendő mérések ezen értéknek a hőmérséklettől való függését fogják kimutatni.

Az állandó értéke gyanánt, mint alább terjedelmesebben előadom, 0,227-et nyertem. Ennek kiszámításánál  $v$  molekulár térfogatnak a molekulársúly és a sűrűség viszonyát vettem,  $s$  az  $\alpha$  felületi feszültség egységéül azt választottam, mely a folyadék felületében 1 mm-nyi hosszban a milligramm súlyával egyenlő erőt fejt ki. Ennek folytán:

$$\alpha \cdot v^{2/3} = 0,227(\tau - T)$$

is írható, hol  $\tau$  azt a hőmérsékletet jelenti, mely alatt az  $\alpha$  zérussal egyenlő. Megfigyeléseim, melyeket éter-, alkohol-, szénsav és más folyadékokon végeztem, arra látszanak mutatni, hogy ez a hőmérséklet a kritikus temperaturával megegyezik, vagy legalább nem messze esik tőle.

### III. Kísérleti igazolások

A felsorolt tételek kísérleti igazolására igen gazdag anyag állott rendelkezésemre; nevezetesen 160 különböző, részint szerves, részint pedig szervetlen anyagon végzett megfigyelések...

Elméleti fejtegetéseim főeredménye hasonlóképpen igaznak bizonyult.

A  $\frac{d}{dt}(\alpha \cdot v^{2/3})$  hányados értékét gondosan meghatározva, a többi között a következő adatokat nyertem:

Etiléter	6 °C-tól	62 °C-ig	0,228
Etiléter	62 °C-tól	120 °C-ig	0,226
Etiléter	120 °C-tól	190 °C-ig	0,221
Etilbromid	20 °C-tól	99 °C-ig	0,227
Etilbromid	99 °C-tól	213 °C-ig	0,232
Kloroform	20 °C-tól	60 °C-ig	0,230
Higanyetil	20 °C-tól	99 °C-ig	0,228



<i>Szénoxiklorid</i>	3 °C-tól	63 °C-ig	0,231
<i>Széndioxid</i>	3 °C-tól	31 °C-ig	0,228
<i>Széndiszulfid</i>	22 °C-tól	78 °C-ig	0,237
<i>Kénessav</i>	2 °C-tól	60 °C-ig	0,230''

*A 0,227-es értéket Eötvös-állandóként ismeri a világ.*

Az Eötvös-törvény nagy nemzetközi visszhangot váltott ki. 1892-től 1928-ig több, mint 40 tanulmány foglalkozott vele. Egyesek megismételték a méréseket, és 1 %-on belüli egyezést találtak, illetve kiterjesztették a vizsgálatok körét. Mások teljes egészében elméleti úton kívánták azt levezetni, értelmezték és elméletileg meghatározták az Eötvös-állandó értékét. Max Born és Kármán Tódor a szilárdtestek fajhőjére alkalmazott módszert használta az Eötvös-törvény elméleti levezetésekor.

Felsorolunk néhány nevezetesebb tanulmányt:

W. Ramsay – J. Shields: On the variation of surface-energy with temperature. Proc. of the Roy. Soc. of Lond. 1892, Vol. 52. 150–156. o.

A. Einstein: Bemerkung zu dem Gesetz von Eötvös. Ann. d. Phys. u. Chem. (4), 34, 165–169. o. 1911.

M. Born – R. Courant: Zur Theorie des Eötvösschen Gesetzes. Phys. Zeitschr. XIV. 1913, 731-740.

#### 1.4. Az új elektrokapillár mozgató

Eötvös a felületi feszültség változásait nemcsak a hőmérséklet függvényében vizsgálta. Lemérte azt is, hogyan változik a felületi feszültség, ha a folyadék nem levegővel vagy a saját gőzével, hanem egy másik folyadékkal érintkezik. Kísérleteit higanyra öntött kénsavval végezte.

Azt is megvizsgálta, hogyan változik a kapilláris állandó, ha elektromos feszültséget kapcsol a higany-kénsav rendszerre. Megállapította, hogy a kapilláris állandó (*a*) függ – az általa állandó értékűnek mért higany-kénsav polarizációs feszültségtől (*r*) és a rákapcsolt feszültségtől, amelyet voltokban mért.

„Kísérleti kutatások a Capillaritás terén” c. előadását 1882. március 13-án tartotta az MTA-n. Az előadás rövid kivonata megjelent az MTA Értesítőben (XVI. 48. o.). Mi az eredeti kéziratból mutatjuk meg a mérési eredményeket.

Eötvös kiszámította, hogy a feszültség-változás hatására bekövetkező felületi feszültség-változás a felületen felvett néhány centiméteres vonaldarabra, arra merőlegesen, elég jelentős. Most az 1882. április 17-i előadásának kéziratából idézünk:



Az életrajz. Eötvös Correctura alkalmával a  
kéziratot is kérem  
Eötvös  
III osztály i. kére  
Móricz 12. évi  
 Hs 5094/247  
 (1882)

Kísérleti Mutatók a  
Capillaritási tétel.

b. Eötvös Loránd  
 kezező lapot

$\varepsilon$	$\alpha$
$r - 0,42170$	2,173
$r - 0,21970$	2,329
$r$	2,467
$r + 0,22090$	2,524
$r + 0,41240$	2,535
$r + 0,61850$	2,537

Az elektromotoros erő  $\varepsilon$  változása vannak kifejezve.

Részlet Eötvös kéziratából  
 Details of manuscript of Eötvös



*„Ebből látszik, hogy elég nagy erőkről van szó s iparkodtam oly eszközt szerkeszteni melyen a viszonyok észlelhetők legyenek.”*

Az MTA Értesítő XVI. kötet 106–107. oldalán közölt előadás kivonatból az erő nagyságát is megtudhatjuk: *„1 milliméternyi részre 30 milligramm és 40 milligramm nehézsége között ingadozik.”*

Eötvös a tanár, aki Bunsentől és Jedliktől tanulta a szemléltetést, azonnal igen látványos eszközt szerkesztett. A huszadik századi tanárok általában csak egyenes vonalú mozgást hoztak létre a felületi feszültség-változás kimutatásakor: a felületre cseppentett idegen anyag hatására gyufaszál, zsilutpenge mozgott. Az idegen anyag hamar eloszlik a felületen, a hatás megszűnik, a mozgás leáll. Az elektromotor őst, Jedlik forgonyát közelről ismerő Eötvös folyamatosan forgó berendezést tervezett, ahogy Pekár Dezső fogalmazott 1941-ben *„egy valóságos mótort, amelyet a kapilláris erők forgatnak.”* A forgó részhez az árambevezetés módja megegyezik Jedlik módszerével: higanyvályúba lóg be a platinadrót.

Az eszköz maga nem maradt fenn, s a szűkszavú kivonatok sem tartalmazzak rajzot.

Eötvös professzortársa, *Rybár István* ismertette részletesen az ezt a „mótort” az 1918-as ünnepi Báró Eötvös Loránd-füzetben, s innét vették át az 1930-as Báró Eötvös Loránd Emléknyvbe is (VII. Előadásairól és eredeti előadási kísérleteiről, 240–260). Ezt a szöveget idézzük mi is:

*„Az úszó, két egymással szembenlévő körsektor-alakú üveglap, melyeket egymással az ABCD fémhíd mereven köt össze. Az úszó szerkezet a O csúcs körül foroghat és a T táblán levő higanyfelületen e felületre öntött higított kénsavban úszik. Az úszók felső lapján igen közel a szélekhez (de nem teljesen ott) platinaszalagok vannak spanyolviasszal ragasztva. Az egymással szembenlévő a és c szalagot platinadrót kapcsolja vezetőleg a fémhíddal össze. A hídról platinadrót ér a higannyal telt V vályuba. A b és d szalagokat összekötő platina-drót a hídtól elszigetelve egy másik W vályuba vezet, mely szintén higanyt tartalmaz. Vagyis az a és c szalagok a V, a b és d szalagok pedig a W vályuban levő higannyal vannak vezetőleg összekapcsolva. A V és W vályuból drótok vezetnek át egymásután kapcsolt akkumulátorral összekapcsolt áramfordítóhoz.*

*Ha az áramot zárjuk például úgy, hogy a + sarok a V vályúval legyen összekapcsolva, akkor az áram a higított kénsavba az a és c szalagoknál be-, a b és d szalagoknál kilép. Az áram hatására a higított kénsavból az a és c szalagoknál oxigén, a b és d-nél pedig hidrogén válik ki. Ennek folytán a higany felülete az úszó a és c oldalán oxidálódik, a b és d oldalán pedig tisztul. A higany felületi feszültsége az a és c oldalon kisebb lesz, mint a b és d oldalon, minekfolytán az úszó a nyíl irányában gyors forgásba jön. Ha az áramfordítóval az áram irányát megfordítjuk, akkor az úszó az ellenkező irányban forog.”*



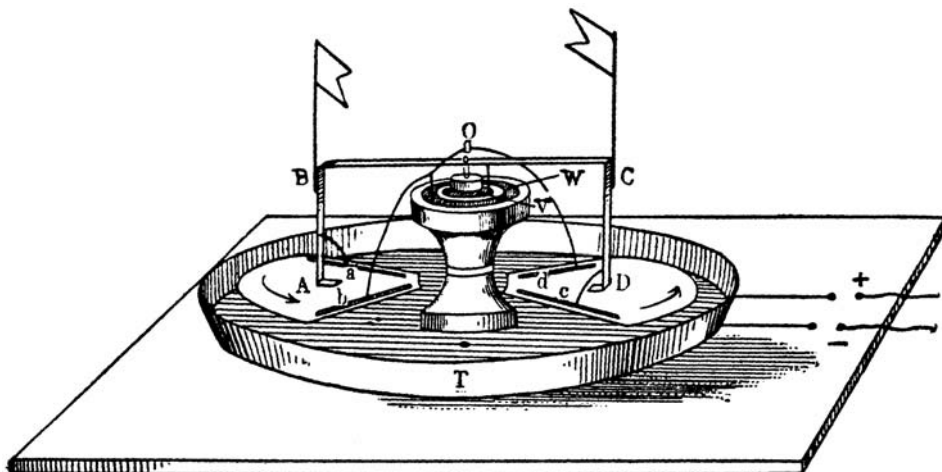
# On Variations in Surface Tension

*Eötvös law – „Surface tension motor” made by Eötvös*

Eötvös discovered a technique for measuring surface tension with great accuracy. He placed liquids into test tubes which he then kept sealed for years at a time, so that the surface tension of the liquids would remain constant. He employed light beams to measure the curvature of the liquid surface (the Eötvös reflection method).

Eötvös's investigations of temperature-induced variations in surface energy led to discovery of the Eötvös Law: the variation of surface energy is independent of the temperature and identity of the matter involved (see equation and data above).

Eötvös also investigated the variation of force acting on a line on the surface boundary between mercury and sulphuric acid using a voltage on the system. In addition, he constructed a „surface tension motor” with current connections similar to those employed in Jedlik's electric motor, the first in the world.



**"Az új elektrokapilláris mozgató"**

"The new electro-capillar mover (motor)"



## 2. „A földi mágneses erőről”

*Mágneses anomáliák mérése – a földmágnesség kimutatása  
lágvas-rúddal, elektromos indukcióval*

Ahogy nincs érzékszervünk a radioaktív sugárzás érzékelésére, ugyanúgy – nekünk embereknek – nincs érzékszervünk a mágneses térerősség észlelésére sem. A három dimenzióban – vízben és levegőben – *korlátlanul* mozogni tudó vándorló állatok, madarak és halak, azonban tájékozódásukhoz tudják használni a Föld mágneses terét.

A földmágnesség erőssége csupán néhány tizedrész a Föld gravitációs erősségének, azonban az *észleléshez* a torziós inga karjain használhatunk erős állandó mágneseket. A mágnesség ugyanis nem a vasatom, hanem a szilárd vas, illetve általában bizonyos szilárdtestek jellemző tulajdonsága. A földmágnesség egy része az ember által létrehozott, a felszín alatt folyó elektromos áramoktól, illetve a mélyben áramló töltött részekről származik. Ugyanígy mi is használhatunk az észleléshez – vagy éppen a földi mágnesség kiegyenlítéséhez, hatásának megszüntetéséhez – elektromágneseket.

*Hevesy György* kémiai Nobel-díjasunk a radioaktív bomlástörvényekre építve visszatekintett az időben: megbecsülte a Föld korát. Ismeretlen összetételű anyag esetében pedig – a bomlás-állandókból – meg tudta határozni az anyagi összetételt.

Ugyanígy *Eötvös Loránd* gravitációs torziós ingájával bele látott a Föld belsejébe, érzékelte a sűrűségváltozásokat; mágneses méréseivel pedig még a kőzetek összetételére is következtetni tudott. Mérései alapján szinte láthatta a mágneses erővonalakat: honnét indulnak, merre tartanak, hol sűrűsödnek, hol ritkulnak.

Eötvös mindig párhuzamosan végezte gravitációs és földmágnességi méréseit. Sok esetben a mágneses torziós ingán az állandó mágneset visszacserélte nem mágneses anyagra és újra mért a korábbi helyeken. Így pontosan meg tudta mondani, hogy az észlelt hatásokból mekkora részt okozott a gravitációs tér változása és mekkorát a földmágnesség. Egyetlen példa: Szentlőrinci kertjében egy viszonylag kis érzékenységgű műszerrel dolgozott, a felfüggesztett mágnes 200 CGS momentumú volt (a laboratóriumban ötször ilyen erős, 1000 CGS momentumú mágneset használtak).

A mágnes másfél méter magasan volt a föld felszíne felett. A műszer állványának talppontjától „*másfél méter távolságban két méter hosszú, egy méter széles és egy méter mély gödröt ástam. Az eszköz adataiban ez által létesített változás a gödör közepébe helyezett 100 C.G.S. momentummal bíró mágnes hatásának felelt meg*” – írta *Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből* c. dolgozatában 1896-ban.



Eötvös mágneses méréseit szinte egyidőben kezdte a kapilláris mérésekkel. Az Eötvös-féle reflexiós módszert 1876. január 10-én ismertette az MTA-n, és még ebben az évben közölte a Műegyetemi Lapokban (1. kötetet, p. 2–10.) (Érdekes módon sem itt, sem másutt nem utal arra, hogy módszere *gondolatban* már Königsbergben készen állt; viszont dicséretre méltó, hogy elismeri „E kísérletek kivitelét tekintve a fő érdem *Pokorny Ottokar* műegyetemi repetitor urat illeti.”)

A pesti Meteorológiai Intézet évkönyveiből viszont megtudhatjuk, hogy Eötvös *maga* végzett már mágneses inklináció méréseket a budai Földmágneses Observatóriumban ugyanebben az évben, 1876-ban.

A Balaton jegén, az Alföldön és Erdélyben felvett adatok alapján Eötvös megállapította, hogy a mágneses anomáliák nem ott a legnagyobbak, ahol a nehézségi gyorsulás értékében a legnagyobb az eltérés a normális értéktől, hanem a határfelületeken, ott ahol a mágneses hatású tömeg a környezetbe beáramlik, azaz ott, ahol a nehézségi *gyorsulás változása* a legnagyobb.

Szép példa a Fruska Gorában talált nagy mértékű és szabályos lefolyású mágneses anomália. Ezt a hegytől északra fekvő, a hegygel párhuzamosan elhelyezkedő olyan mágneses hatású tömegek idézik elő, amelyek sűrűsége csak kevéssé tér el a környezet sűrűségétől, így nem okoznak változást a nehézségi erőterben.

A mágneses tulajdonsággal nem rendelkező bizonyos anyagokat is mágnesessé tehetünk, ha mágneses térbe helyezzük azokat. Ez az indukált mágnesezettség az úgynevezett lágy mágneses anyagoknál megszűnik, ha kikerülnek a mágneses térből. A legtöbb mágnesezhető anyagnál azonban létre tudunk hozni u. n. remanens, azaz megmaradó mágnességet.

A régészek Eötvöst az archeomágneses mérések előfutárának is tartják. A lehülő magmás kőzetek és az égetett agyagtárgyak a szerkezetükből, felépítésükből eredő mágnesség segítségével megőrzik a lehülésükkor jelenlevő földi mágneses tér által indukált mágnesezettséget is.

Eötvös érzékeny mágneses torziós ingájával rendszeresen vizsgált kőzeteket, régi téglákat, edényeket. A földi mágneses tér időbeli változásainak ismerete alapján a régi edények keletkezési idejére, és fordítva, az előállítás idejét ismerve az akkori földmágneses erő irányára lehetett következtetéseket levonni.

Előadási kísérletként a földmágnesességi erő influáló hatását Eötvös a következőképpen mutatta be. Ismét *Rybár Istvánt* idézzük:

„*Vízen úszó mágnesezett varró tű képét vertikális projekcióval ernyőre vetítjük. A tű (mágnes tű) a földmágneses meridiánba helyezkedik el, egyik vége észak felé, másik vége dél felé mutat. Közelítsünk e mágnes tűhöz 1 cm át-*

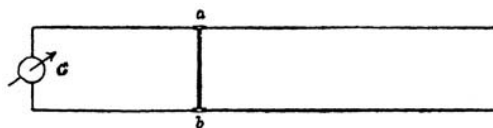


mérőjű és körülbelül 80 cm hosszú, izzítással teljesen lágyvá tett vasrudat s tartsuk azt úgy, hogy a földi mágneses erőre merőleges legyen. A rúdnak a mágnesűhöz közelített vége a mágnesűnek úgy az északi, mint a déli végét vonzza, jelölül annak, hogy a lágyvasrúd nem mágneses. Ha azonban a rudat a földi mágneses erővel párhuzamosan állítjuk s úgy közelítjük a tűhöz, akkor a lágyvasrúdnak észak felé mutató vége a tű déli végét vonzza, de az északit taszítja. Azaz a lágyvasrúd e vége északi mágneses vég.

Ugyanazt tapasztaljuk akkor is, ha a rudat megfordítva a másik végét közelítjük a tűhöz: a rúd vége a tű déli végét húzza, az északit taszítja. Ugyaníly módon a lágyvasrúdnak dél felé néző végét közelítve a tűhöz, meggyőződünk arról, hogy ez a vég a tű északi végét vonzza, a délit taszítja, azaz e vég déli mágneses vég. Tehát a lágyvasrúd, mely a földi mágnességi erőre merőleges helyzetében nem mágneses, mágneses sajátosságot mutat, mágnesrúd lesz, ha azt a földi mágneses erővel párhuzamosan állítjuk. És pedig a rúd észak felé néző vége mindig az északi mágneses vége, a dél felé néző vége pedig mindig a déli mágneses vége a rúdnak. A lágyvas e mágnességét a földi mágneses erő befolyásolja.”

A Föld mágneses terének jelenlétét, annak elektromos feszültséget indukáló hatása alapján is kimutatta:

„Két hosszú, egymással párhuzamosan és vízszintesen kifeszített dróton (síneken), melyeknek az egyik oldalon lévő végei érzékeny galvanométerrel vannak összekapcsolva, fémkerekeken ab mozgó fémrúd tolható el (11. ábra). Ha a fémrudat, azaz a zárt vezető egy részét önmagával párhuzamosan a síneken mozgatjuk, akkor a galvanométer tűje kitér, jelölül annak, hogy a vezetőben áram kering. Az áramot a földmágneses erő indukálja. Ha a mozgás gyorsabb, akkor a galvanométer kitérése is nagyobb, tehát az indukált áram elektromótoros ereje nagyobb. Ha a mozgás ellenkező irányban történik, akkor a galvanométer ellenkező irányú áramot jelez.” (i.m.: 250–51).



11. ábra.



# Investigations of the Earth's Magnetic Field

*Measurement of variation of the Earth' magnetism – Demonstration of Earth' magnetism with soft iron rod and electro-magnetic induction*

While conducting gravitation measurements with his unique torsion balance equipped with small permanent bar magnets, Eötvös also measured variations in the Earth's magnetic field with great accuracy. He demonstrated the influence of the Earth's magnetism by employing a needle floating on water and a soft iron rod 0.8 meters in length and 0.01 meters in diameter.

He also generated voltage on a moving bar, using only the Earth's magnetism.



**Az Eötvös-érem az Eötvös Loránd Fizikai Társulat legmagasabb kitüntetése (1969)**

The Eötvös Medal the greatest honor of the Loránd Eötvös Physical Society



### 3. A nehézségi gyorsulás értékének meghatározása

*Négyingás műszer – Eötvös-féle ejtő inga*

#### 3.1. Laboratóriumi mérés

A nehézségi gyorsulás vektor ( $\mathbf{g}$ ) abszolút-értékének, nagyságának pontos meghatározása nem könnyű feladat. A szabadon eső test egy másodperc alatt közel öt métert zuhan, sebessége ezalatt a kezdeti zérus értékről közel 10 m/s-ra nő. Ha mozgáshoz kapcsolódóan akarjuk mérni ezt az értéket, akkor automatizálni kell, vagy le kell lassítani a mozgást. Ez utóbbit tette Galilei, amikor lejtőt, ingát használt. Az inga azért is megfelelő eszköz, mert periodikus mozgása révén lehetővé teszi, hogy sok lengés idejét mérjük meg, s abból következtessünk egy lengés idejére.

*Mikola Sándor* (1871—1945), Eötvös tanítványa, és egy évig egyetemi kollégája a Bárány Eötvös Loránd Emlékkönyvben megírta, hogy Eötvöst 1881-ben a Természettudományi Társulat megbizta, mérje meg a nehézségi gyorsulás értékét Budapesten, a Kárpátokban és az Alföldön. (A mérés eredményeiről nem szól a terjedelmes Eötvös-irodalom.) Eötvös Loránd igazi fizikus, igazi tanár volt; elgondolkodott a feladaton. Tőle csak a gyorsulás nagyságát kérték, pedig a  $\mathbf{g}$  vektormennyiség, lényeges lehet az *iránya* is. Természetesen tudjuk, hogy ez az *irány* a Föld középpontja felé mutat. Kijelölik ezt az irányt a fák, a föld felé eső kövek. A hegyoldalon ültetett fa, az ott leejtett kő a teljes Földet „érzi”, függőlegesen nő a törzs, függőlegesen, a Föld középpontja felé esik a kő, nem pedig a lejtőre merőlegesen. Azonban egyrészt nem is tudhatjuk pontosan hol van a Föld középpontja, másrészt ha elméletileg ismernénk is ezt a pontot, egyáltalán nem biztos, hogy a testek *pontosan* arrafelé esnek. Lehet, hogy „érzik” a lejtőt, hisz az egészen közel van a testhez a Föld középpontját meghatározó összes más tömeghez képest. Jó lenne olyan műszert szerkeszteni, amely kimutatja ezt a feltételezett kis irányváltozást. Készült is később ilyen műszer: az Eötvös-féle torziós inga.

Visszatérve a nehézségi gyorsulás nagyságának méréséhez elgondolkozhatunk azon, hogy jobb lenne a mozgást kikapcsolni, nyugalmi állapotban kellene mérni. Késszünk olyan fizikai összefüggést, amelyben szerepel a  $\mathbf{g}$ , ugyanakkor a test, amelyre az összefüggés vonatkozik, nyugalomban van! Itt van azonnal a súly:  $\mathbf{G} = m\mathbf{g}$  A diákok nehezen értik, hogy miért szerepel  $\text{m/s}^2$  egységű *gyorsulás* egy sztatikus állapotot meg-



adó egyenletben. Itt tulajdonképpen  $g$  a gravitációs térerősség vektora:  $g = G/m$ , N/kg egységű mennyiség. Súlyt és tömeget kellene mérnünk egymástól függetlenül; ez sem könnyű feladat. Keressünk más utat!

A hidrosztatikai nyomást ( $p$ ) megadó összefüggésben is szerepel a  $g$ ;  $p = h\rho g$ ;  $\rho$  a folyadék sűrűsége,  $h$  a folyadékoszlop magassága. A higanyos barométer állása függ a nehézségi erőtől és persze a légnyomástól. Kell keresnünk olyan fizikai mennyiséget, ami csak a légnyomás függvénye! Ilyen a víz forráspontja.

A víz forráspontjának század °C pontosságú mérésével és a higanyos barométer egyidejű tizedmilliméter pontosságú leolvasásával kis számolás után megbízható  $g$  értéket nyerhetünk. Így dolgozott mozgó hajón 1901-ben az Atlanti óceánon majd 1904-ben és 05-ben az Indiai és Csendes óceánon *Otto Hecker*, a Potsdami Geodéziai Intézet igazgatója; erre majd a következőkben visszatérünk.

(A sztatikus állapotban végzett nehézségi gyorsulás-érték meghatározását a súlyos és tehetetlen tömeg arányossága teszi lehetővé. Tételezzük fel, hogy a réz tehetetlen tömege négyszerese a súlyos tömegének, azaz rézre  $m_t : m_s = 4 : 1$ ; ugyanakkor ez az arány vasra 2:1. Karos mérleggel mérjük ki azonos súlyos tömegű rezt és vasat! Ezeket a Föld ugyanakkora erővel vonzza. Ha szabadesésnél meghatározzuk külön-külön ezen anyagokkal a nehézségi gyorsulást, akkor azt kapjuk, hogy ez a gyorsulás a vasnál éppen kétszer akkora lesz, mint a réz esetében. Fordítva is okoskodhatunk. Válasszunk olyan réz és vastárgyat, amelyeket *egy meghatározott* nagyságú erővel azonos gyorsulással tudunk mozgatni, azaz tehetetlen tömegük megegyezik. Vegyünk azonnal mindegyikből kettőt! Ha egy ilyen vastárgyat az egyenlőkarú karos mérleg egyik serpenyőjébe tesszük, akkor csak kettő darab réz tárggyal tudjuk azt kiegyensúlyozni. Természetesen a vas és a réz csak a könnyebb áttekinthetőség miatt szerepelt. Ha nincs arányosság a súlyos és a tehetetlen tömeg között, akkor egyazon anyag esetén is független lenne egymástól ez a két fizikai tulajdonság. A 2 kg súlyos tömegű vas sem esne szabadon akkora gyorsulással, mint az 1 kg súlyos tömegű vas.)

A nehézségi gyorsulás pontos laboratóriumi meghatározásának egyik eszköze a négyingás műszer: a három talpcsavaron nyugvó súlyos állvány négy részre van osztva válaszfalakkal úgy, hogy az ezeken belül lengő, 1,3 kg tömegű, 20 cm súlyponttávolságú fém fizikai ingák közül kettőnek-kettőnek azonos a lengési síkja. Az ingák achát élei achát lapokon nyugszanak és arretálhatók. A mérés ideje alatt kettős falú fémbura fedi a berendezést. Az állványra és az ingákra szerelt tükrök teszik lehetővé az egy irányból történő megfigyelést. Nagy gondot kell fordítani az időmérésre, valamint az időt mérő inga óra és az ingák koincidenciába kerülésére. Meg kell figyelni, mikor kerül az inga és az inga óra ingája ugyanabba a helyzetbe. Ennek megfigyelését külön koincidencia berendezés segíti.



Eötvös megvásárolta a szükséges eszközöket, de maga nem végzett ilyen méréseket, ezzel *Oltay Károly* (1881–1955) műegyetemi tanárt bízta meg. Oltay 1908-ban, 1911 és 13-ban mérte a nehézségi gyorsulást Budapesten és Magyarország több helyén. Oltay írásaiban megemlíti, hogy őelőtte nagy pontosságú nehézségi gyorsulás méréseket a Központi Meteorológiai Intézetben 1885-ben *Gruber Lajos*, majd 1893-ban *O. Křifka* százados végzett Budapesten.

A nehézségi gyorsulási méréseknek Eötvös esetében ellenőrző szerepük volt. A terepi méréseknél az útvonal mentén a torziós ingával csak a gyorsulás *változásait* tudták mérni. A változások előjeles összegének egyeznie kellett a kiinduló állomáson és a végállomáson mért nehézségi gyorsulás különbségével.

### 3.2. Demonstrációs mérés

Tanítási órán a tanteremben tényleges szabad eséssel kell meghatározni a g-t. Itt is biztosítani kell a koincideniciát: amikor a test esni kezd, pontosan abban az időpontban kell indítani az időmérést. Több különböző megoldást ismerünk a koincidenencia biztosítására. Eötvös látványosan oldotta meg ezt a feladatot.

Súlyos ólom talpra függőleges keretet állított; ennek közepén van a rúd inga tengelye. A nehezékkel ellátott 130 cm hosszú rúd alsó végén kis kosárkát helyezett 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. Cérnával rögzítette az ingát az állványon lévő állítható csavarhoz ebben az állapotában. Ha a cérnát elégette, akkor ugyanabban a pillanatban kezdett szabadon esni a golyó és lengeni az inga. Gondos beállítással elérhető, hogy amikor az inga a másik szélső helyzetébe kerül – pontosan a golyó indítási helye alá – akkor érkezik oda a golyó, és bele esik a kosárkába.

Eötvös ejtő ingájának lengésideje fél másodperc, ugyanannyi, mint a négyingás műszer ingáinál. A lengésidőt pl. tíz lengés idejéből pontosan meghatározhatjuk. A kosárka és az állványra szerelt villa közötti távolság 122,5 cm. Így tantermi méréssel a Fizikai Intézet előadó termében (az „Eötvös-teremben”) a nehézségi gyorsulás értéke

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

Oltay Károly laboratóriumi pontos mérése a közeli „kir. József műegyetem fizikai intézetében” (108 m magasan, Greenwich-től keletre: 19° 3'11" és az északi szélesség 47° 28'49" helyén)  $g=980,852 \text{ cm/s}^2$ .

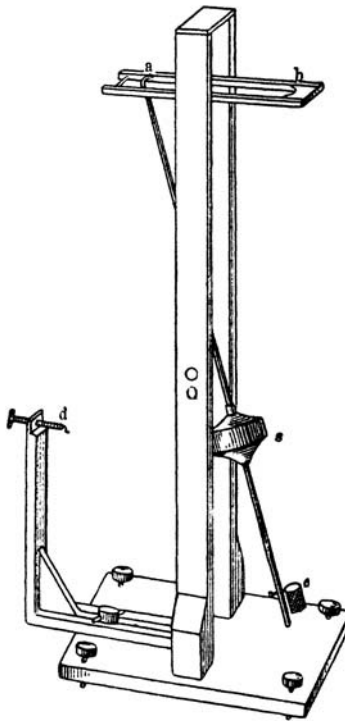


(A pontosság kedvéért meg kell említenünk, hogy a négyingás műszerrel csak a lengésideőt mérik. A lengésideő mérések különbségéből következtetnek a  $g$  tényleges értékére, úgy, hogy végeznek időmérést egy *alapponton Postdamban* is, ott ahol igen nagy pontossággal meghatározták – más módszerekkel – a nehézségi gyorsulás abszolút értékét.)

Eötvös félmásodperces kosaras ejtőingája az 1970-es évek elején a Pedagógiai Múzeumba történő szállítás közben eltűnt. Rajzát, működésének leírását az Eötvös Emlékkönyvben, Rybár István már idézett cikkében találhatjuk meg.

Budapesten a Pedagógiai Múzeumban jelenleg egy fából készült, gyenge minőségű ejtő-inga-másolat található, amely a budapesti Markó utcai Bolyai Szakközépiskolából került a múzeumba. A készítők éppúgy nem gondoltak arra, hogy az állványnak masszívnak kell lennie, mint mi, amikor Nagykanizsán a hatvanas évek végén az ingát újra megépítettük.

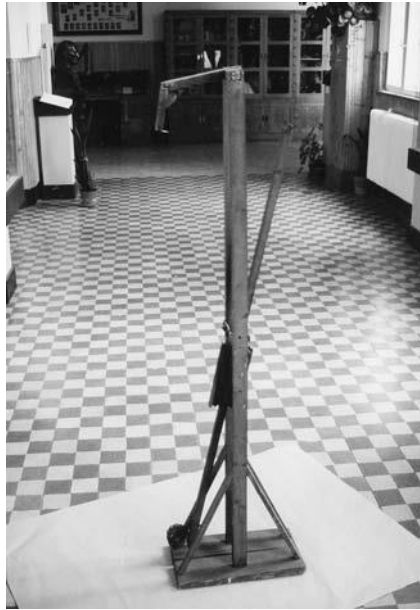
Fémről készült változat található a Berzsényi Dániel Főiskola Fizika Tanszékén: Somogyi Péter szakdolgozati munkája 1992-ből.



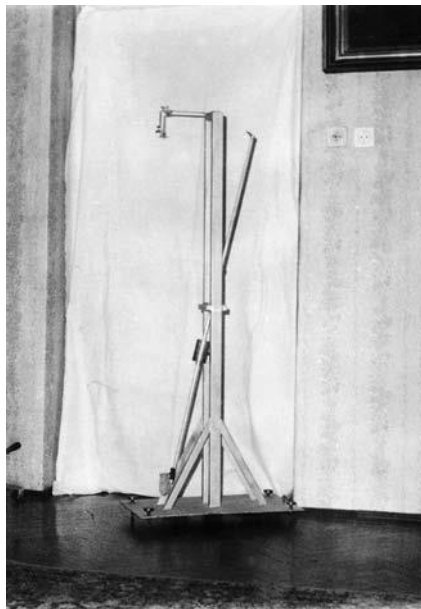
**Az Eötvös-féle ejtő inga rajza (1918)**

Pendulum for measuring the acceleration of free fall (Drawing)





**g-mérő inga-másolat a Pedagógiai Múzeumban Budapesten**  
 A copy of Eötvös pendulum in the Pedagogical Museum, Budapest



**Az Eötvös-féle ejtő inga másolata a Berzsenyi Főiskolán Szombathelyen**  
 A copy of the Eötvös pendulum in the Berzsenyi College, Szombathely



## 4. „A nehézségről a Földön mozgó szerkezetekben”

*Eötvös-effektus – Eötvös-féle forgó mérleg*

### 4.1. Az Eötvös-hatás

A nehézségi gyorsulás irányáról szóló korábbi fejtegetéseink során figyelmen kívül hagytuk a Föld forgását. Ugyanígy tett *Otto Hecker* is. A hajón leolvasott higanyos barométer állásainál 0,2 mm hibát okozott az a tény, hogy hajója nyugatról-keletre, majd keletről nyugati irányba haladt, s ezzel a hajó sebessége hozzáadódott illetve levonódott a földfelszínnek a Föld középpontjához viszonyított sebességéhez.

A Földdel együttmozgó tárgyra a Föld gravitációs vonzása mellett – a Földdel együttmozgó rendszerben szemlélve – centrifugális erő is hat. Ennek iránya az adott szélességi kör középpontjától kifelé mutat. Ez a centrifugális erő is szerepet játszik a gravitációs gyorsulás végső irányának és nagyságának kialakulásában. Ha a Földdel együtt mozgunk, nincs mihez viszonyítanunk, nem zavar bennünket az, hogy a nehézségi gyorsulás-vektor más lenne, ha a Föld nem forogna. Azonban ha kelet felé, a Föld forgásának irányába halad a hajó, akkor a Föld középpontjához képest nagyobb sebességgel mozog, mint a kikötőben álló társa. A megnövekedett sebesség miatt rá nagyobb centrifugális erő hat, ez csökkenti az eredő gyorsulás értékét, csökkenti a hajó és a rajta levő tárgyak súlyát. Ennek a fordítottja mondható el, ha nyugat felé haladunk: növekedni fog a testek súlya. (Ez a súlynövekedés csak addig tart, amíg a sebesség nagysága el nem éri a földfelületnek a Föld középpontjához viszonyított sebességét. Ezután már nyugat felé haladva is csökken a súly, egészen a nulla értékig, amikor is –a közel 8 km/s sebességnél – a test mesterséges bolygóvá válik.)

Eötvöst idézve:

*„E nehézségi gyorsulás-változás nagysága, nyugvó naprendszerre vonatkoztatva:*

$$\Delta g = -2\Omega \cos \varphi \frac{dy}{dt},$$

*hol a  $\Omega$  Föld forgásának szögsebessége, a mely*

$$\Omega = \frac{2\pi}{86164 \cdot 09 \text{ sec}} = 0 \cdot 0000729212;$$



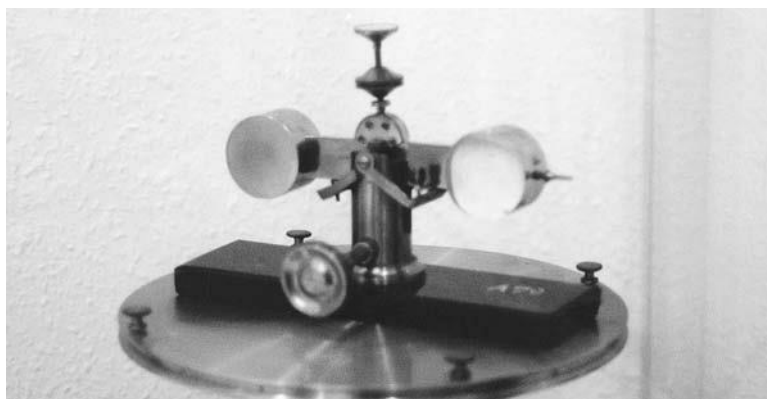
továbbá  $\phi$  a Föld felületén lévő helynek földrajzi szélessége és  $\frac{dy}{dt}$  a test sebessége a Földön, vonatkoztatva oly derékszögű koordináta-rendszerre, melynek X, Y, Z tengelyei rendre egybeesnek az Égnek Északi, Keleti és függőlegesen Lefelé haladó irányaival.”

A súlyváltozás 100 kg-os sétáló embernél csupán 3 g tömegnek megfelelő súly, azonban egy 100 000 tonnás, 36 km/óra sebességgel haladó hajónál már 30 tonna tömegnek a súlya.

Eötvös már az 1890-es években foglalkozott ezzel a súlyváltozási kérdéssel, így azonnal észrevette Hecker hibáit. Udvarias levélben hívta fel kollégája figyelmét az értelmezési hibára, cikket azonban ekkor nem írt.

Hecker és a német tudósok igazat adtak Eötvösnek és el is nevezték a Földön mozgó testek súlyváltozását *Eötvös-effektusnak*.

Hecker még ellenőrző méréseket is végzett 1908-ban a Fekete-tengeren állítólag nem is egy, hanem – talán azért, hogy egyidőben lehessen mérni – két hajóval, melyek közül az egyik pontosan kelet, a másik pedig nyugat felé mozgott. A mérések Eötvöst igazolták. Eötvös csak mosolygott ezen a német precízkedésen. Természetesen ő is szívesen elvitte volna egyetemi hallgatóit, vagy népszerűsítő előadásainak hallgatóságát a Fekete tengerre egy kis hajókázásra, hogy kísérleteket végezzen a súlyváltozásra. Azonban erre nem volt szükség. Tervezett egy nagyszerű eszközt, amellyel az előadó teremben is kimutathatta a súlyváltozást.



**Az Eötvös-féle forgómérleg Budapesten az Eötvös Emlékkiállításon**

The rotaring balance at the Eötvös Memorial Exhibition in Budapest



## 4.2. Az Eötvös-féle forgó mérleg

Az 1917. május 10-én már működésben bemutatott eszközének leírását csak súlyos betegen, halála előtt néhány nappal, 1919. március 31-én küldte el az *Annalen der Physik* folyóiratnak, ahol az 1919 végén meg is jelent (59. kötet 743-752). A magyar változatot 1919. október 20-án mutatták be az MTA-n és 1920-ban publikálták (*Mathematikai és Természettudományi Értesítő*, 37, 1-28.). E műből idézünk:

*„Ámde, az oly kísérletek, a melyek egyenletes, egyenesvonalú mozgásokat tételeznek fel, alig valószínűsíthetők meg pontosan; ezért folyamodunk ebben az esetben is a könnyebben és pontosabban létesíthető körmozgáshoz.*

*Forgassunk például valamely, végein megterhelt, lenghető mérlegrúd-alakú testet oly függőleges tengely körül, a mely a mérlegrúd nyugalmi helyzetében annak súlypontján halad át; míg a mérlegrúd lengése közben e súlypont a függőleges forgási tengely közelségében marad. A tömegek akkor szakaszosan keleti és azután nyugati irányban mozognak; és megfelelőleg az így keletkező nehézségi változásoknak: szakaszos lengéseknek kell fellépniök, a melyek sokszorosítás folytán szakadatlanul növekedve, a csillapító erő által korlátolt maximális határértéket érnek el.”*

Jedlik a sokszorozás-elvét bevallottan Voltától tanulta: a Volta-oszlopban sorba vannak kötve a Volta-elemek, azért, hogy sokszorozódjon a feszültség. Ugyanígy a sorbakapcsolás sokszorozta Jedlik „villam-feszítőjében” kondenzátorainak feszültségét, amikor Eötvössel közösen mérték a keletkezett szikrák nagyságát. Eötvös is sokszorozta a hatást. A rezonancia-módszert alkalmazta az Eötvös-hatás kimutatásakor és már korábban a gravitációs vonzás demonstrációs és tudományos vizsgálatánál is.

A forgó mérleg működésének pontos elméleti leírása meglehetősen bonyolult. Elég, ha arra gondolunk, hogy más a mérleg lengés ideje nyugvó és forgó állapotban. A továbbiakban mi csak az észlelés módját mutatjuk be, és néhány adatot közlünk Eötvös eredeti szövegét idézve.

*„A 3. ábra talán fölöslegessé tesz minden további leírást.*

*A függőleges tengely körüli forgatás által létesített hajlása a lengő testnek a maximalis amplitudo mértékeként szolgál.*

*Tekintsük meg közelebbről az általam használt készülékeket.*

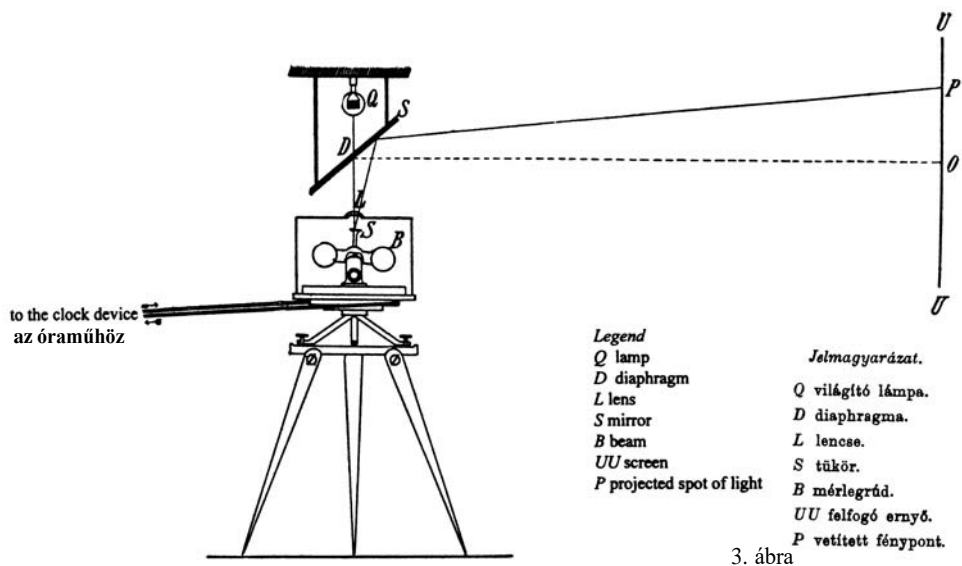
*Szilárd, ingadozásoknak alá nem vetett alapszatra oly forgatható állvány van felállítva, mely a theodolith-éhoz hasonló szerkezetű; állító csavarok segé-*



lyével az állvány forgás-tengelye pontosan a függélyesbe hozható; e forgást egy alkalmas óramű létesíti. ... Az általam használt kitűnő óramű a cambridgei műhelyekből való; eredetileg csillagászati messzelátók hajtása céljaira készült...

A B mérlegkar lengéseit a következő módon teszszük láthatóvá és mérhetővé: A jól világító Q lámpa által átvilágított D diaphragma nyílását lehetőleg pontosan a függélyes forgási tengelybe állítjuk fel. A D nyílásból lefelé haladó sugárnyaláb az eszköz szekrényére alkalmasan erősített L lencsén át a B mérlegkarra erősített kicsiny S tükörrre esik; onnan visszaverődést szenved és újra az L lencsén áthaladva, a D diaphragma alsó, ezüstözött, tükröző lapjára jut, onnan visszaverődik és a felfogó UU ernyő P pontját találja és ott mint világos folt jelenik meg. Ez a fénylő, mozgó P pont akkor a következő pályát írja le, mindig feltéve, hogy a ... resonantia bekövetkezett és a forgatás közben fennáll.

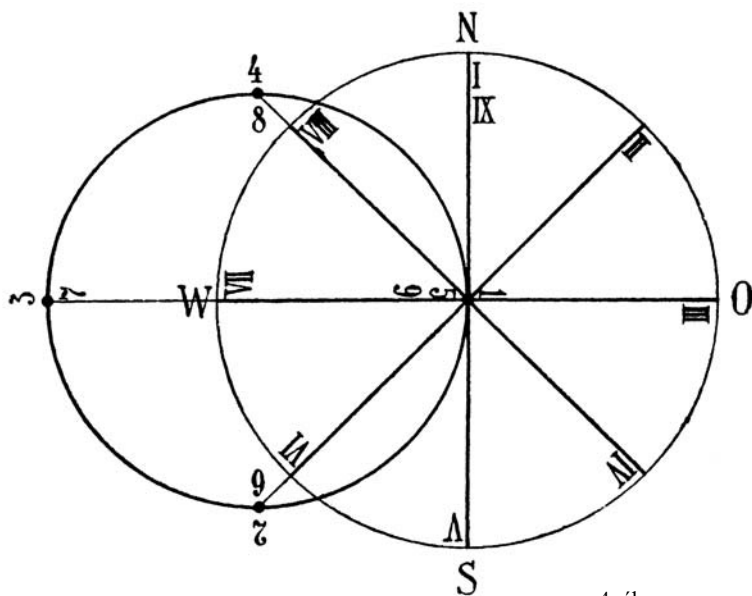
Ha a mérlegkar visszaverő kis tükrének beállítása hibátlan, azaz, a mikor a mérlegkar nyugalmi helyzetében úgy e tükör tengelye, mint a felülről bejuttat sugárnyaláb pontosan függőleges: akkor a P fényes pont az UU ernyőn a lassan lengő, hajlítást mutató mérlegkar egy körülforgása alatt két, egyenlő, azaz egybeeső köralakú hurkot fog leírni; ezt a 4. ábra teszi szemléltethetővé. Ugyanis, mialatt a mérlegkar az I., II., III., IV., V. félkör mentén mozog, azalatt a P pont leírja az egész 1., 2., 3., 4., 5. kört. ” ...



### Az Eötvös-hatás kísérleti bemutatása

Experimental demonstration of Eötvös-effect





4. ábra

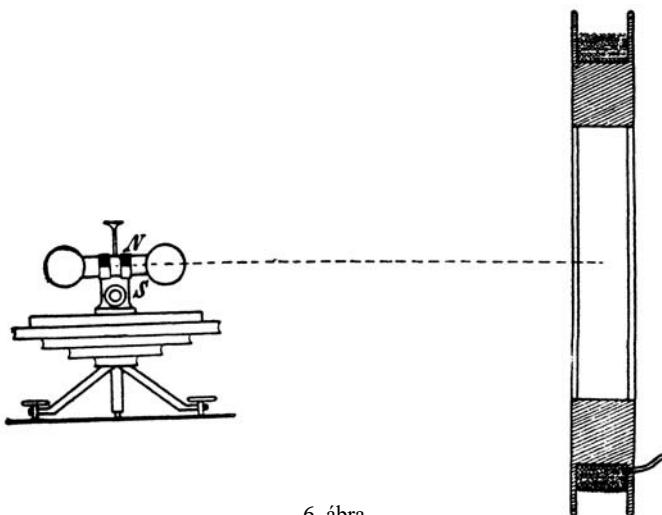
### Az ernyőn látható körök

Loops on the screen

„Sajnos, pontos adatokat nem nyújthatok, minthogy súlyos betegségem következtében munkálkodásomat félbe kellett szakítanom; és mert még most is ágyban fekvő vagyok, adataimat nem egészíthetem ki egyhamar. Mindazonáltal felemlíthetem azt, hogy húsz és egynéhány másodpercet kitéző *T* körülforgási idő mellett oly lengéseket nyertem, a melyek egy körülbelül öt méter távolságban lévő felfogó ernyőn egy méter átmérőjű hurkok keletkezése által váltak felismerhetővé.”

Eötvös a rezonancia-módszeren kívül egy másik pontosságot növelő, alapvető fizikai mérési módszert is alkalmazott, a *null-módszert* vagy ahogy ő írta a „*compensációs eljárást*”. Neki, aki harminc éven át vizsgálta a Föld gravitációs és mágneses terét nyilvánvaló volt, hogy a forgó mérlegre ható gravitációs hatást mágneses hatással kompenzálja. „Lengő mérlegrudunkra, és pedig közepe táján, egy vagy két kicsiny mágneset úgy akarunk reá erősíteni, hogy *tengelyeik függőlegesek és déli pólusuk lefelé irányítva legyenek*.” A Föld gravitációs és mágneses ereje közötti – már említett – különbséget jól mutatja az a tény is, hogy a földmágnesség vízszintes összetevőjének hatása önmagában nem elegendő a változó gravitációs hatások kiegyenlítésére. Pótlólagos mágneses erőre van szükség. Továbbra is Eötvöst idézve:





6. ábra

### A kompenzációs módszer

#### Compensation method

„Ezt a mágnességi pótló erőt legcélszerűbben elektromágnességi tekercs által létesíthetni, a mint ezt a 6. ábra mutatja.

E végből az ily tekercsnek oly elhelyezést adhatunk, hogy az eredő mágnességi vízszintes,  $H$  erő a földrajzi délkörbe essék; ... Ilyformán az [alábbi] formula az általunk felállított problémát teljesen megfejti ...:

$$\Omega \cos \phi = \frac{HM}{4\pi} \cdot \frac{T}{I},$$

ahol  $\Omega$  a Föld forgásának szögsebessége  $\left( \Omega = \frac{2\pi}{24 \cdot 3600} \right)$ ,  $\phi$  a Föld felületén levő helynek a földrajzi szélessége (Budapesten, mint már említettük: kerekítve  $\phi = 47^\circ 29'$ ),  $T$  a forgás periódus ideje a rezonancia esetén. Az elmélet ugyanis azt kívánja, hogy a maximális amplitudó elérésekor kell alkalmazni a kompenzálást. ( $T$  értéke Eötvös kísérleteiben – mint ő maga említette – 20 és 30 másodperc között volt.)  $I$  a szabályosan kiképzett mérlegkaroknak a függőleges tengelyre vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka; ezt könnyen ki lehetett számítani, illetve méréssel ellenőrizni.

Itt  $H$  jelenti azt az eredő mágnességi erőt, amely létesül, ha a földmágnességi  $h$  erőhöz valamely pótló vízszintes mágnességi erő hozzájárul, lévén

$$H = h + \Delta h$$



(Azért idéztük szó szerint Eötvös eredeti írását, mert Rybár Istvánnak az Eötvös emlékkönyvben közölt „VI. A Földön mozgó testek nehézségéről” c. írásában „H a tekercs által létesített mágneses erőter intenzitása” kitétel szerepel. Elszomorító, hogy Rybár idézőjel nélkül szinte szó szerint átveszi az eredeti Eötvös-cikk szövegének nagy részét, ugyanakkor kihagy lényeges részeket, és közli Eötvös ábráit az erre történő hivatkozás nélkül. Mindössze két összefüggésnél hivatkozott az eredeti Eötvös-műre.) Eötvös forgó mérleges kísérlete nem olyan látványos, mint a Föld forgását ugyancsak igazoló Foucault-inga, azonban van amiben többet ad annál. Eötvös utolsó tudományos szavai utalnak erre a többletre: *„ezzel egyszersmind a föld tengely körüli forgásának szögsebessége ezen az úton is meghatározható.”*

### 4.3. Az Eötvös-féle forgó mérleg utóélete

A Ziehr Károly budapesti mérleggyáros által készített precíz műszer szerencsére ma is megvan: a mérleg az Eötvös Loránd Emlékkiállításán látható az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) földszintjén (Budapest XIV. Columbus u. 17–23., a Thököly úti saroképületben).

1950-ben Selényi Pál (1884–1954) a xerox-eljárás egyik felfedezője, az Einstein-féle túsugárzás-elméletet cáfoló nagyszögű interferencia-kísérlet végrehajtója, a fénymérő feltalálója megismételte és továbbfejlesztette a forgó mérleges kísérletet. (Über die Möglichkeit einer Abänderung und Weiterentwicklung des Eötvös'schen Versuches der gedrehten Waage, Acta Physica, ACH, Tomus I. Budapest, 1951, 75–83). Selényi elméleti bevezetőjében kimutatta, hogy Eötvös – illetve a cikk posthumusz magyar változatában az elméletet részletesen kidolgozó Fröhlich – a do-log természeténél fogva csak *súlyváltozásról* beszélt. Ez a súlyváltozás a Coriolis-erőnek csupán a függőleges komponense. Létezik vízszintes erőkomponens is, bár ez, a fellépő kis mérlegrúd-kilengések miatt *gyakorlatilag* valóban elhanyagolható. Figyelembe kell viszont venni azt, hogy a mérlegkarokra a függőleges fel-le mozgás miatt is hat vízszintes irányú Coriolis-erő.

Selényi Pál az eredeti eszközzel megismételte Eötvös kísérletét. Kimérte a rezonancia élességét is. Megállapította, hogy nem könnyű feladat az Eötvös-kísérlet végrehajtása.  $T=21,5$  másodpercnél kapott pontos rezonanciát. Ekkor az erősítési tényező százszoros volt. Ha a periódus idő egy ezrednyi értékkel változott, akkor 98-szoros erősítést, egy századnyi idő-eltérésnél pedig már csak 45-szörös erősítést lehetett észlelni.

Selényi úgy módosította az Eötvös-féle elrendezést, hogy a mérlegkarok vízszintes mozgása céljából feszített szálas függőleges torziós felfüggesztést alkalmazott. Ér-



demes elgondolkodni azon, hogy Eötvös, a torziós felfüggesztések nagy mestere, nem ezt a megoldást választotta.

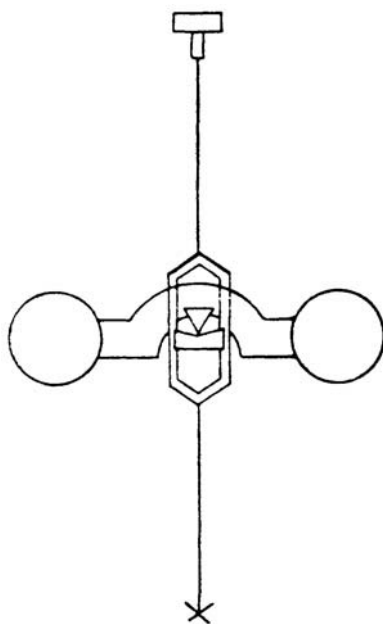
Selényi a vízszintes rezgéseket úgy hozta létre, hogy a torziós fejet szabad kézzel ide-oda forgatta.

Rezonancia esetén  $45^\circ$ -os, illetve  $22,5^\circ$ -os vízszintes rezgési kitéréseknél a felfogó ernyőn 0,7 m, illetve 0,4 m átmérőjű fényköröket kapott.

Selényi Pál saját elrendezésének előnyeként azt említi, hogy az ő összeállításával elvégezhető az *ellenkísérlet* is. (Az ilyen jellegű mérés fontosságát Bay Zoltán /1900-1992/ is kiemelte az 1946. évi Holdradar-kísérletükkel kapcsolatban: a „vakkísérletben”, amikor a radart a Holdtól elfordították, *nem* kaptak kiugró jelet.) A súlyváltozás csak akkor lép fel, ha nyugalmi helyzetében a mérlegrúd a meridián-síkban van, azaz észak-dél irányú.  $90^\circ$ -kal elfordítva a berendezést a mérlegrúd kelet-nyugat irányú lesz, a tömegek jó közelítéssel észak-dél irányba mozognak, így *nem lép fel* súlyváltozás, nem lesz függőleges kitérés.

Ez a negatív eredményű ellenkísérlet megerősíti azt a tényt hogy az első változatban észlelt kitéréseket valóban a súlyváltozás okozta és azok nem más okból, pl. a vízszintes és függőleges rezgések csatolása miatt léptek fel.

1980-ban *iffi. Cseh Géza* a budapesti I. István Gimnázium második osztályos tanulója kis módosításokkal elkészítette a forgó mérleg másolatát. A változó frekvenciájú forgatást hangfrekvenciás generátorral működtetett lemezjátszóval oldotta meg. Az eszköztől öt méterre levő ernyőn 2–2,5 m átmérőjű hurkokat láthattak a középiskolai tanárok, akiknek Cseh Géza bemutatta eszközét Salgótarjánban a 23. Fizikatanári Ankéton (Az Eötvös-effektus kimutatása sajátkészítésű eszközzel, Fizikai Szemle 31., 31–32.).



**Rajz Selényi Pál írásából**

Figure of Selényi's paper



# Experimental Demonstration of the Gravity Variation to which a Body is Subjected when Moving to the East or West on the Surface of the Earth

by Baron Loránd EÖTVÖS† Member of Ac. Sci. Hung.  
(*Annalen der Physik* 59, 1919, 743-752)

The eminent author of this treatise completed the manuscript in German during a terminal illness which caused his death on the 8<sup>th</sup> of April, 1919. He had it sent to the editorial office of the Journal *Annalen der Physik* with the date 31<sup>st</sup> March, 1919. The paper appeared in Volume 59, pp. 743-752, towards the end of the year 1919. The proof-reading was done by the present editor of our Bulletin and Mr J. FEKETE, who had been a collaborator of the deceased for many years. Simultaneously with the above date the author handed the manuscript over to the editor with the request that its Hungarian translation and the theoretical elucidation necessary in 3. §. be done by him and that he would be responsible for publishing it in the Bulletin. All these requests were carried out with the co-operation of Mr J. FEKETE.

The unfortunate state of affairs in Hungary, the forced interruption of the activity of the Academy and printing difficulties caused the treatise to appear in Hungarian later than in German.

## 1. §. Introduction

It is a well-known postulate of the GALILEI-NEWTON mechanics that any body moving to the east on the Earth, should lose weight, while that moving to the west, should gain weight. This variation of gravitational acceleration in a static solar system:

$$\Delta g = -2\Omega \cos \varphi \frac{dy}{dt}, \quad (1)$$

where  $\Omega$  means the angular velocity of the Earth's rotation, which is:

$$\Omega = \frac{2\pi}{86164 \cdot 09 \text{ sec}} = 0 \cdot 0000729212;$$

Let us mark the geographical latitude on the Earth by  $\varphi$ , and by  $dy/dt$  the velocity of the body on the Earth in a coordinate system, whose  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  axes coincide with the celestial *North*, *East* and the *vertical downwards* direction, respectively.



... Two noteworthy sea-trips made by professor HECKER of Berlin, the first on the Atlantic in 1901, the second on the Indian Ocean between March 23, 1904 and April 8, 1905, captured the interest of all specialists, including myself, who were studying terrestrial gravity.

I soon recognised, that in the otherwise high-accuracy computations the influence of the ship's movement, which should have manifested itself with a value computable in advance, was not in accordance with these presumptions.

To avoid even a shadow of doubt it seemed desirable to go over the observations carefully and recalculate them. But professor HECKER, whom I requested to have these computations carried out, went far and beyond that. Conquering all manner of difficulties he succeeded in persuading the Russian tsarist government to equip a new expedition; thus in May, 1908 he was able to make another sea-trip and carry out new measurements on the Black Sea, in some part on the same line but in opposite directions. The difference between the ship's speed towards the west and east was near to 45 km/h, the value of gravity difference according to Equation (1) approximately:

$$\Delta g = 0.707 \cdot 0.000146 \cdot \frac{4\,500\,000}{3\,600} = 0.129.$$

This gravity difference is high enough that it is possible to observe it even with the most simple experiments carried out with the methods to be described in the following section. Those apparent contradictions indicated by HECKER's observations at sea assisted us in carrying out the first experimental demonstration of the old theory.

## **2. §. The possibility of experimental demonstration at much smaller velocities in laboratory conditions. The method of resonance**

According to Equation (1) on latitude 45° each gram of an eastward moving body at a speed of 1 cm/sec suffers a gravitational decrease of  $\Delta g = -0.000103$ , i.e. in the absolute c.g.s. system one ten thousandth of the unit of acceleration, meaning the *weight of the body* changing by its one *ten millionth* part.

Thus if a well-fed man weighing 100 kg walks at leisure, at a speed of 1 m/sec on the surface of the Earth supposed to be of spherical shape towards the east, he will become lighter by approximately  $2 \cdot 100,000 \cdot 100 / 10,000 = 2000$  c.g.s. i.e. by 2 grams, which denotes two hundred thousandth part of his original weight.

However, the experiments, which need rectilinear motion of constant velocity are hardly realizable; we must therefore resort to the more easily and accurately realizable circular motion.



Let us rotate a beam-like body loaded on both ends round a vertical axis which passes through its centre of gravity in its state of balance; while during the swinging of the beam this centre of gravity stays near to the vertical axis of rotation. In this case the masses periodically move to the east and west, respectively, thereby initiating, due to the respective gravity variations, a periodic swinging motion whose amplitude increases by repetition before reaching a maximum value limited by attenuating forces. This *forced* swinging motion is a special case of forced oscillations, like that of acoustic resonance, whose respective theory of point motion is discussed by HELMHOLTZ in a masterly manner in his theoretical physics...

#### **... 4. §. On the observation and determination of maximum amplitude of forced oscillations**

If the maximum amplitude is big enough, i.e. it reaches a few degrees, its increase until reaching the limiting value can be followed visually, however, with the help of hands, like the pointers of ordinary scales, the measurement of amplitudes becomes easier.

At smaller amplitudes, and for the sake of increasing accuracy, however, it is necessary to use the auxiliary devices of optics, making these phenomena conspicuous even in demonstrations at lectures.

*Figure 3*, perhaps, makes all further explanation unnecessary, still let us deliberate over the actual instrument.

A turntable, similar to that of a theodolite, is set up on a stable stand. The axis of rotation of the turntable can be set to vertical by screw spikes. The rotation is controlled by a clock.

The oscillations of beam *B* are made visible and measurable in the following way:

The aperture of diaphragm *D*, illuminated by lamp *Q* of high candlepower, is set in the vertical axis of the turntable as precisely as possible. The pencil of light travelling downwards from aperture *D*, is transmitted through lens *L*, attached to the casing and is incident to a small mirror *S*, fixed to beam *B*. The pencil of light reflected there and again transmitted through lens *L* reaches the silver-plated reflecting bottom of the diaphragm, where reflected it reaches point *P* of screen *UU*, represented by an illuminated dot.

Let us suppose that the *resonance* described above takes place by rotation, and the mirror is set accurately, i.e. in the state of equilibrium of the beam, the axis of the mirror as well as the pencil of light are exactly vertical, then the illuminated dot *P* will describe, during a complete rotation of the slowly swinging beam, a double, coincident



loop on screen  $UU$ , as shown in *Fig. 4*. Namely, while the beam moves along *semicircle* I., II., III., IV., V., point P describes the *whole circle* 1., 2., 3., 4., 5.

Unfortunately, I cannot provide exact data, as I had to disrupt my experiments because of my grave illness; and as I am still bedridden, I cannot envisage being able to complement my data very soon. I can mention, however, that I have, at a rotating period of twenty-odd seconds, received such oscillations, which demonstrated themselves on the screen, at a distance of 5 m, by loops of 1 m diameter.

One of the main conditions of a successful execution of this experiment, is the stability of the stand. If any periodic vibration influenced the instrument, its impulses would falsify the periods to be determined.

Another main condition of success is an exquisite clock, with continuous and steady motion. The clock device I have been using was a product of a Cambridge workshop, originally constructed for driving astronomical telescopes...

## 5. §. Compensation method

We wish to circumvent this difficulty we should use a method we may call *compensation method*.

Namely, let us expose our oscillating beam to some other periodic impulses than those caused by the variations of gravity as a result of rotating the instrument round a vertical axis.

Magnetic forces are the most suitable for creating such impulses. Let us fix one or two magnets to our oscillating beam, near to its centre, with *vertical axes* and their *south pole pointing downwards*.

The Equation provides the solution to our problem, resulting in the following formula:

$$\Omega \cos \varphi = \frac{HM}{4\pi} \frac{T}{\sum m a^2}$$

i.e. the value  $\Omega \cos \phi$  of is determined by easily measurable quantities. **At the same time, even the angular velocity of the Earth's rotation can be determined this way.**



## 5. A tömegvonzás vizsgálata

### *Demonstrációs torziós ingák – az Eötvös-inga*

A korábbi fejezetekkel ellentétben itt a demonstrációs kísérletek ismertetése után szólnunk csak a tudományos mérésekről. Ennek az az oka, hogy a torziós ingával kapcsolatban Eötvös teljesen „Jedlik-szerűen” járt el: először szemléltető eszközt készített egyetemi és a fizikát népszerűsítő előadásaihoz. Később ezt az eszközt fejlesztette precíz műszerré.

Minden Eötvös-kutatónak megvan a maga elmélete annak indoklására, hogy miért hagyta abba Eötvös az akkor modern témájú és sikeres felületi feszültség-kutatását, és miért választotta a mágnességet és a gravitációt. A Föld alapos megismerésétől kezdve (*M. Zemplén Jolán*), Newton gravitációs elméletének kiigazításán (*Novobáthzy Károly*) és a *távolbaható erők* törvényének igen pontos mérésén (*Marx György*) át a leforrasztott üvegsző felrobbanása okozta sérülésig (*Radnai Gyula*) sokféle indokot említenek. Nem az a lényeg, hogy miért választott valaki egy adott kutatási témát, hanem az, hogy milyen módszerekkel dolgozott, ezen módszereket kinek a hatására, hogyan fejlesztette ki és milyen eredményeket ért el. Valahol mélyen az emberben determinálva van az, hogy melyik tudományos vagy művészi területen tud kiemelkedő lenni. *Chopin* és *Liszt* zenét szerzett, kitűnően zongorázott, és senki nem kérte tőlük számon, hogy miért nem hegedültek. *Maxwell* az elektromágneses térelmélettel foglalkozott, *Eötvös* pedig a tömegvonzás rejtjelmeit vizsgálta igen eredményesen.

#### **5.1. Előadási kísérlet és laboratóriumi gyakorlat a tömegvonzás kimutatására**

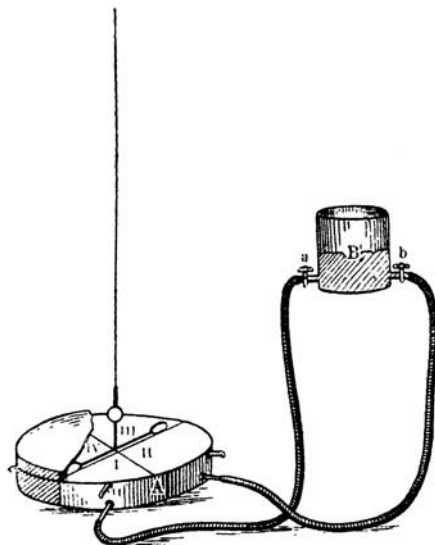
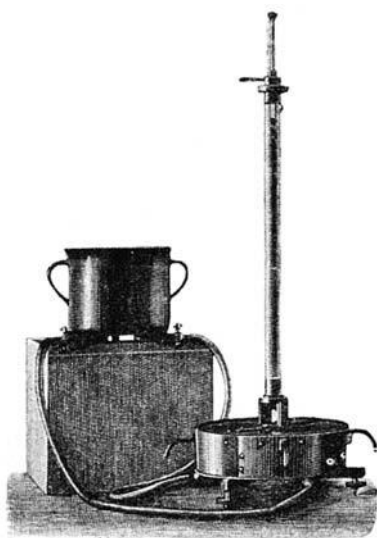
Coulomb elektromos és Cavendish gravitációs torziós ingái példát adtak arra, hogy igen kis erőhatások kimutatására a csavarási (torziós) ingát kell használni. Az *érzékenység fokozása*, a *zavaró hatások csökkentése* – ezeken a területeken múlta felül elődei Eötvös.

Közel *másfél méter* hosszú felfüggesztő szálát alkalmazott. A torziós szál alsó részéhez erősített torziós rúd végeire vízszintesen nagy, lapos, henger alakú ólomsúlyokat erősített. A szál 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. A Fizikai Intézetben az előadóteremig felnyúló, az épülettől független alapra helyezett, kb. 1 m<sup>2</sup> keresztmetszetű piszkei márványoszlop biztosította az inga rezgésmentes elhelyezését.



Az 1888-ban népszerűsítő előadásban bemutatott demonstrációs változatban:

„A fémdobozában jól védett Coulomb-mérleg alatt négy részre osztott hengeres fém edény van, amelynek két-két szemben fekvő negyedét felváltva, alulról higannyal lehetett megtölteni. Az eszköz már 3–4 perces lengésideőnél elég érzékeny volt és a fűtött és kivilágított előadóteremben megfelelő stabilitást mutatott.” (fordítás az *Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus*, *Annalen der Physik und Chemie*, Neue Folge 59., 1896. 354–400 c. cikkből) Bemutatjuk a német nyelvű cikkben szereplő rajzot, a Rybár István – már többször említett – írásában szereplő ábrát és a ma is meglevő eszközről az Eötvös Loránd Emlékiállításon készült fotót.



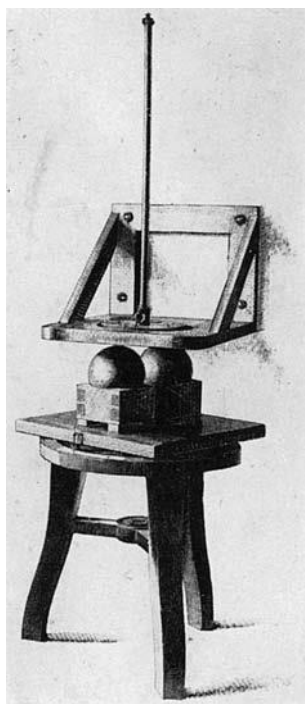
### A gravitációs vonzás demonstrálása

Demonstration of gravity

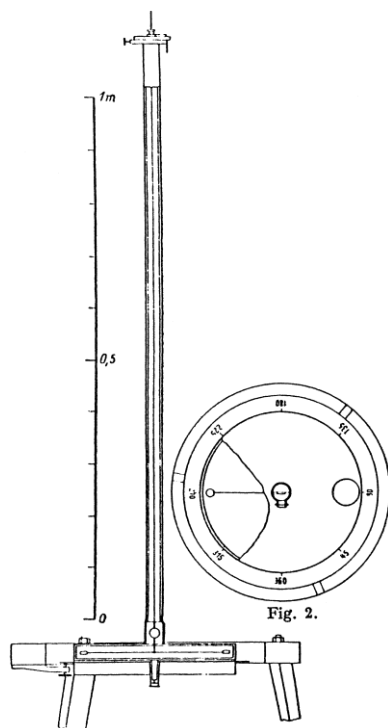


A negyedhengerekben levő higany vonzó hatását viszonylag hosszadalmas volt kiszámítani, ezért a hallgatók laboratóriumi méréseinél az inga alá vízszintes síkban elforgatható asztallapra gömb alakú illetve paralelepipedon formájú, néha 50–100 kg tömegű, más esetekben pedig csupán 1 kg vagy még kisebb tömegű ólomdarabokat raktak. Az 1910-ig használatban levő labormérési összeállítás rajzát is közölte Eötvös az 1896-os írásában. Legnagyobb vonzó erő akkor lépett fel az ólomtömbök és a torziós rúd végein levő tömegek között, ha a gravitációs kölcsönhatásban lévő tömegek középpontjait összekötő egyenes merőleges a rúdra és közel  $55^\circ$  szöget zár be a vízszintessel. Nagyobb lett volna a vonzó erő, ha a tömböket a torziós rúddal egy magasságban helyezik el, azonban Eötvös eszköze kellően érzékeny volt: 10 perces lengés idő esetén is 2–3 fok kitérést lehetett észlelni.

Azért, hogy az egész jelenségről meggyőző bizonyítékot nyerjen, Eötvös fotografikus eljárást is használt. A torziós rúdra 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.



**A hallgatói méréshez használt eszköz**  
Device for students' labor work

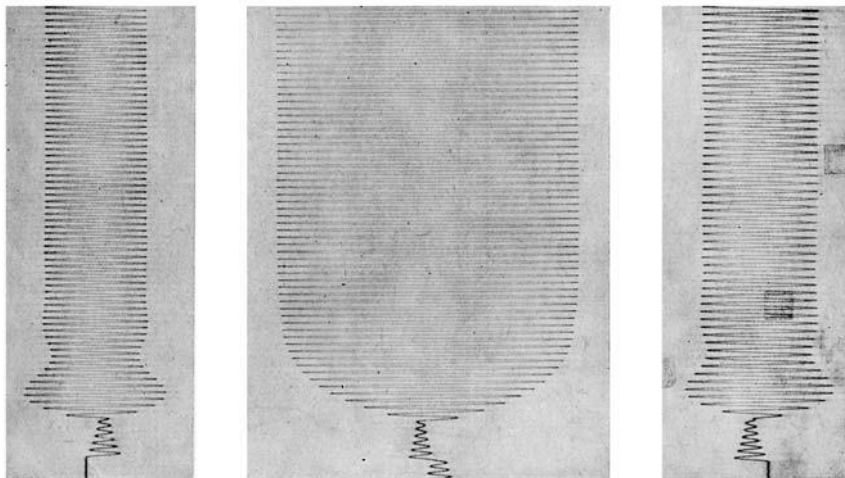


**Görbületi variometer**  
Curvature variometer



## 5.2. Gravitációs multiplikátor

Eötvös a kisamplitudójú rezgések felerősítéséhez a rezonancia-módszert használta: amikor a torziós rúd elérte maximális kitérését, az asztal forgatásával áthelyezte az ólomgolyókat a lengő tömegek másik oldalára. Az asztal forgatását először kézzel végezte, később automatizálta a forgatást. Óramű zárta megfelelő időközökben az asztal lapot elforgató villanymotor áramkörét. Azonnal Jedlik Ányos 1859. évi akadémiai székfoglalójában ismertetett, 12 egységből álló, összetett forgó Volta-métere juthat eszünkbe: ott is óramű kapcsolta be automatikusan egymás után az egységeket. A Volta-méterben fejlődő gáz összegyűjtésével történő jelösszegezés és -tárolás zseniális gondolata vitte sikerre Bay Zoltán már említett Holdradar kísérletét is. Elgondolkodtató, hogy Eötvös Loránd patetikus elnöki beszédében 1897. május 9-én mindössze ennyit mondott: „Akadémiánkban 1859-ben tartott székfoglaló értekezés után csak még egyszer tartott előadást a *Rumpelles Mihály kőbányai pincéjének beomlása által megsűrített légnak nevezetes hatásáról.*” (Akadémiai Értesítő 1897. 273–289.)



### Kényszerrezgés, rezonancia

Gravity multiplication

A rezonanciamódszer Eötvös későbbi tudományos munkáinál 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 lengést, így félórás lengésidőt is tized vagy századmásodperces pontossággal tudott mérni. Bemutatjuk az MTA-n 1890. április 21-én tartott előadásának fotográfi-



kus eljárással készített ábráját. A vonzó tömegek 1,85 kg-ak voltak. Az inga lengés ideje 10 perc. A tömeg-áthelyezések időintervalluma a baloldali esetben 9 perc, a jobboldalinál 11 perc, a rezonancia esetén – közepén – 10 perc. A kép alján a sokszorozás nélküli lengések jelei láthatóak. (Akadémiai Értesítő I. 1890. 274. és Math. u. Naturw. Ber. aus Ungarn, 8, 1891. 450–451.)

Az 1896-os akadémiai előadásában számértékekkel jellemezte a multiplikálást. A kurzív  $T$  jelenti a rúd lengési idejét,  $T$  pedig a tömegek periodikus áthelyezésének ideje,  $A$  a végső kilengés nagysága:

$T = 611$ s	és	$T = 611$ s	időkkel $A = 252'$
$T = 611$ s	és	$T = 600$ s	időkkel $A = 225'$
$T = 611$ s	és	$T = 590$ s	időkkel $A = 180'$

### 5.3. A gravitációs állandó mérése

Az Eötvös-ingák nagyfokú érzékenységének két hátránya volt. 1. Kezelésük nagy szakértelmet, gyakorlottságot követelt. A külföldi inga-vásárlóknak több esetben el kellett jönniök Magyarországra megtanulni az inga kezelését. 2. Nagyon hosszú ideig tartott egy-egy mérés, és főleg a terepen egy-egy méréssorozat. Gondoljuk meg, ha nemcsak a vonzás tényét akarjuk demonstrálni, hanem mérni is szeretnénk, akkor az ólomtömbök elhelyezése után meg kell várni, amíg a lengésbe jött inga megáll, hogy ismerjük a kiindulási helyzetet.

A súlyok áthelyezésekor az inga ismét lengésbe jön és sokáig kell várni, míg a fénymutató kijelöli az új egyensúlyi helyzetet. (A rezgések, helyzetváltoztatások jól láthatóak a „rezonanciás” ábrán.) Ezért is támadt Eötvös Lorándnak az az ötlete, hogy nem az egyensúlyi helyzetek változását keresi, hanem ezen sztatikus módszer helyett *dinamikus módszert* választ.

Méri a lengésidőt a befolyásoló tömegek jelenlétében, illetve anélkül, és a lengés-idők különbségéből 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 eszközével.

*„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° szöget 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 sza-*



bálytalanságok mellett számításba vehetjük.” – olvashatjuk a *Vizsgálatok a gravitatio és mágnesség köréből* (1896.) c. dolgozatában. Ugyanitt ír a gravitációs állandó meghatározásáról is:

„ $f = 0,000\ 000\ 066\ 5$  értéktől alig tér el többel, mint annak  $1/500$  részével.” A módszert tartja lényegesnek, nem a pontosságot.

„... a kettősfalú fémszekrényében jól megvédett COULOMB-féle mérleget két quadratikus alapú függélyes ólomoszlop között állítottam fel, a mely oszlopok között ugyancsak quadratikus alapú üres tér volt hagyva. A felállítás módját a 11. ábra tünteti elő. Az oszlopok alapja közel  $30 \times 30$  centimeter, magasságuk 60 centimeter, az oszlopok egymásfelé fordított lapjainak távolsága ugyancsak 30 centimeter, úgy hogy az egész ólomtömeget 60 centimeter magas, 90 centimeter hosszú és 30 centimeter vastag falnak tekinthetjük, a melynek közepéből egy 30 centimeter oldalú négyzetes oszlop van eltávolítva.

A mérleg rúdjának lengéseit két egymásra merőleges egyensúlyi helyzet körül figyeltem meg, ú. m. a fal hosszának irányába eső longitudinális állás körül és a fal vastagságának irányába eső transversális állás körül. A lengési időt a longitudinális állás körül 641 másodperczzel, a transversális állás körül pedig 860 másodperczzel egyenlőnek találtam.”

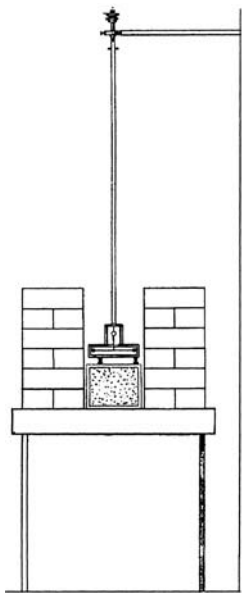
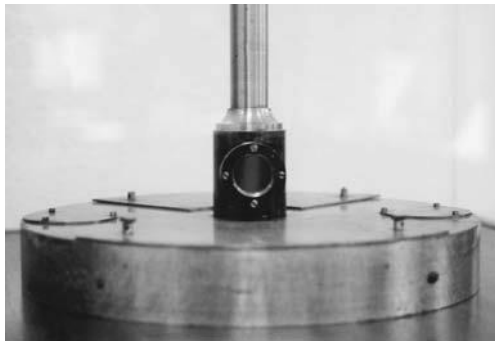


Fig. 11.

#### A gravitációs állandó mérése

Measurement of the gravity constant



#### A görbületi variometer az Eötvös Emlékkiállításon

Curvature variometer at the Exhibition



Eötvös elvégezte az *ellenkísérletet*, a „vakkísérletet” is: a lengésidőket az ólom-oszlopok eltávolítása után is megmérte, és megállapította, hogy az ólomoszlopok hatásától származó tényleges lengésidő-különbség 203 másodperc, ugyanis ólom nélkül 743 és 759 másodperces lengésidőket mért.

Ha a torziós rúd „longitudinális állásban” van, akkor az ebből a helyzetből történő  $\alpha$  szögű kitérésnél sokkal kisebb mértékben távolodik el a faltól, mint amekkora értékkel közeledik a falhoz a „transverzális” esetben ugyanakkora szögű kitérésnél. Ezért lesznek a lengés idők különbözőek.

#### 5.4. A nehézségi erő térbeli változásai

1953-ban Selényi Pál az általa szerkesztett könyvben (Eötvös Loránd összegyűjtött munkái) életrajzot is írt Eötvösről. Ebből idézünk: az inga alá helyezett tömegek esetén „*a mérlegrúdra valóban már nem vízszintes, hanem ferde erőpár hat, s a mérlegkart csupán ennek vízszintes összetevője forgatja el... Ez az összetevő Eötvös közlése szerint akkor a legnagyobb, ha az erők a vízszintessel kb. 55°-ot zárnak be... könnyű elképzelni, hogy idáig jutva, csupán egy lépést, azt a bizonyos lépést kellett Eötvösnek megtennie, nevezetesen megkérdeznie, mi történik, ha e szög mindjobban közeledik a merőlegeshez... A másik döntő lépés természetesen annak felismerése volt, hogy az egyik súly mélyebbre helyezésével a vízszintes gradiens is meghatározható... Ez a szerkezet alkalmas a »legfüggetlesebb« erőnek, a nehézségerőnek, illetve ennek változásainak mérésére is.*”

Eötvös az inga érzékenysége alapján arra gondolhatott, hogy az 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 középpontját és az ingára helyezett tömeget összekötő egyenes 55° fok körüli szöget zár be vízszintessel. Most nem lehet az inga alatti tömeget elmozdítani, *ezért az ingát kell addig mozgatni, míg megjeljük ezt a maximális forgatónyomatékot adó helyet.* Sőt természetesen ennél tovább is kell mennünk, hogy távolodva a vonzó centrumtól a csökkenést is ki tudjuk mutatni. Így lehetett a hegyvonulatok földalatti 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 sajtó hírekkel ellentétben – *nem* „seperte végig a Földgolyót”, nem volt semmiféle gravitációs vagy mágneses zavar.



# Studies in the Field of Gravity and Magnetism

by Baron Loránd Eötvös

(*Mathematikai és Természettudományi Értesítő* 14/4. 1896;

translated by Éva Kilényi, linguistically corrected by Judy Elliot)

## ... 3. The Instrument (*The torsion balance*)

... From these data it became clear that I had to strive in the first place to design instruments capable of creating long oscillation periods and, it was these considerations which enabled me to measure those infinitesimal variations of forces, which had remained hidden to those using instruments with shorter oscillation periods.

Using 10, 20 minutes or even longer oscillation periods and achieving such a high sensitivity, barely attained by anyone before, I was able to regulate both the position of equilibrium and the movement of the beam amazingly well, not only in well-protected vaults but in the laboratory and, moreover, out of doors, under simple canvas tents, during the night.

The clue to my success, if I may presume to call it so, was the closing of my beams into double-walled metal casings of small height. For my experiments I have used casings of different shapes: a horizontal cylindrical tube tightly enclosing the beam; elongated, flat parallelepiped; flat cylinder. I have found this last one the most favourable, in which the beam can swing freely and its position, relative to the casing, remains uniform.

The double walls of the casings, separated by a 1/2-1 cm layer of air, were made of 2-4 mm thick sheet brass. The tube encasing the torsion wire was made in a similar fashion. As a consequence, the influence of unilateral warming inside the inner casing diminished significantly, while the outside temperature variations penetrated into the space surrounding the beam, practically simultaneously from all sides, because of the possibly uniform thickness of metal walls and layers of air. As the height of the saving space is not more than 2-3 cm the influence of upward air flow is fairly recognizable. Furthermore, the good conductivity of the casing excludes all outside electric influences. All these factors explain the stability of my instruments which may be deemed astonishing compared to former experiences with the Coulomb balance.

I have suspended the beams regularly on to 100-150 cm long platinum wires which were formerly stretched by weights for many months. I have been regularly using wires of 1/25 mm in diameter, with a loadbearing capacity of 120-130 g. The



weight of the suspended mechanism was between 80 and 100 g and  $\tau=0.3$  c.g.s. for a one meter long stretch of wire.

I shall call the instrument a *curvate variometer*. (Figure on the page 71 in this book shows the instrument.)

In the lower part of the tube there is a circular window, one half of it being covered by a mirror, while through the other half, the mirror attached to the oscillating beam, can be seen. The mirror, fixed to the tube, can be deflected by screws, in such a way that the image of the scale placed before it should be seen together with that of the mirror fastened to the oscillating beam in the visual field of the reading telescope. The translation of these two images serves for the reading of the twist.

#### **4. Results of measurements carried out so far**

... Outside the institute, the first measurement were carried out on the ground floor of the management building of Rudas Bath, at the foot of Gellért Hill in Buda. There, the oscillation period of the curvate variometer with its beam directed towards the hill, was 564.6 sec, and in a perpendicular position 572.2 sec. On the same spot, the twist of the torsion wire between the two perpendicular position, making an angle of  $45^\circ$  with the former directions, was found to be 45 minutes. This approximated the calculated value, based on oscillation periods, by less than 1 minute. This value of variation corresponds to the shape and mass of the hill, as far they can be calculated in spite of their irregularity.

### **III. Determination of gravity constant**

Since 1888 the observation of gravity phenomena has been part of the every-day experiments of the Physics Institute of the University. My students have the opportunity to learn both the theory and practice of gravitation by studying their own observations.

The first instrument, which served for the presentation of the phenomenon of gravitation at a popular scientific lecture, was constructed after the quadrant electrometer in 1888. Below the beam of the Coulomb balance, and well protected by metal casing, a cylindrical iron pot, divided into quadrants, was placed. The opposite quadrant pairs were alternately filled with mercury, discharged from below. The instrument already had sufficient sensitivity if the oscillation period reached 3.4 minutes, and, at the same time, showed satisfactory stability even in the heated lecture hall. The computation of the attraction of the mercury, filling up the quadrants, is somewhat lengthy. I have carried out a long and varied series of



experiments with the above-described instrument, later applying spherical and parallelepiped shaped lead masses, the weight of which sometimes reached 50-100 kg, sometime 1 kg or even less. (*Figures on the pages 70-71.*)

These measurements, whose methodology was near to that of CAVENDISH, were characterized by placing the attracting masses not on a level with the beam, but below it, on a horizontal turn-table. This solution offers advantages by enabling us partly to use the protecting cylindrical metal casing described before and partly to select the position of the attracting masses in such a way that their effect on the beam is maximum, thus the variation of the force to be measured, during the deflection of the beam, is infinitesimal. In the case of spherical masses, this maximum effect is reached if the straight lines connecting the centres of the attracting masses, with the respective spheres at the ends of the beam, are perpendicular to the beam, making an angle of about  $55^\circ$  with the horizontal. In this setting, when determining the relative position of the masses, it is sufficient to concentrate solely on the measurement of the vertical distance between them, which causes no problem.

The fact, that by using such a setting, the force to be measured is smaller than in the case of level masses, does not cause any problem either, because the sensitivity of my instruments, acquired by increasing the period of oscillation to at least 10 minutes, enables us to obtain deflections of about  $2-3^\circ$ . The photographic records may prove the regularity of the deflections and the respective oscillations. (*See figure on the page 72.*) The photosensitive paper, recording the light reflected from the moving mirror of the beam was fixed on a drum whose steady turn was controlled by a clock.

It is worthy of note that the actual measurements were carried out using the POGGENDORFF scale reading, the photographic recording served mainly for documenting my statements or, if the overgained sensitivity made personal reading impossible. Such cases will be discussed in detail below.

Now I turn to the description of an essentially new method which is a side-product of my research into the variation of gravity. The essence of the method of determining the gravity constant is namely that it is not the force itself, but its variation which is determined, i.e. it is not the deflection of the beam which is recorded, but the oscillation period of the balance and its variation.

To do this, I have set up the Coulomb balance in its well-protecting double-walled metal casing in a square-based gap between two squarebased vertical lead columns (*See Fig. 11 on the page 74*). The bases of the columns are 30x30 cm, their height 60 cm and the width of the gap also 30 cm. Thus the whole lead mass can be regarded as a 60 cm high, 90 cm long and 30 cm thick wall from the centre of which a 30 cm based square column is removed.



Observations of the oscillations of the balance were carried out round two positions of balance, perpendicular to each other: in the longitudinal direction, i.e. that of the length of the wall, and in the transversal direction i.e. that of its thickness. The period of oscillation was found to be 641 sec in the longitudinal, and 860 sec in the transversal position...

Then I determined the oscillation periods without the lead columns, and found it to be 742.82 sec in the longitudinal position, while in the transversal position it was 759.07 sec. This difference is caused by the attraction of the walls and earth masses surrounding the place of measurements. At present, the most I can do is mention that the value of the gravity constant, according to my observations so far, does not deviate from the value of:  $f = 0.000\ 000\ 066\ 5$  more than its  $1/500$  part.

## 2. Gravity multiplication

It is possible to increase the small deflections of the beam of the Coulomb balance by gravity multiplication. Multiplication is carried out in the following way: below the beam, on a turntable, attracting masses are placed to deflect the beam e.g. clockwise. In the instant the beam reaches its maximum amplitude, the masses are relocated by turning the table to change the attraction into the opposite direction. The beam again reaching its maximum amplitude, the procedure is repeated, and so on.

This method of multiplication, I am certain, will be of great assistance in the study of internal friction of gases, but for the time being, I have a different goal to achieve. I have been using multiplication for an extremely sensitive method of attaining the measurement of oscillation periods and their variations. If the period of mass transfer, that is the period of force variation,  $T$  is not equal to the period of oscillation,  $T$ , then the resulting amplitude  $A$  depends, besides deflection  $a$  and attenuation  $\vartheta$ , on the values of these two periods. The beam, in this case, is not making one movement to and fro with its own period, but with the period forced by the variation of attraction. Such oscillations are called forced oscillations, consisting of elements of simple oscillations round two positions of balance.

It is obvious, that if a beam of period  $T$  is forced into oscillation by mass transfers of different periods, the resultant amplitudes provide data for the calculation of  $T$ . It is also obvious that if period  $T$  of the forced oscillations is constant, and period  $T$  of the beam is changing, this change has to be manifested in the resultant amplitude. To illustrate the sensitivity of amplitude  $A$  versus variation of periods  $T$  or  $T$ , an example is presented (amplitudes are expressed in minutes):



$T=611$ sec	and $T=611$ sec,	$A=252'$
$T=611$ sec	and $T=600$ sec,	$A=225'$
$T=611$ sec	and $T=590$ sec,	$A=180'$

It can be observed, that the decrease of  $T$  by 10 seconds decreases the angular displacement by 45 minutes, i.e. in average, 1 second of time variation causes 4.5 minutes variation in angular displacement.

... To ease the practical realization, especially the tiring work of repeating mass transfer several times, I have constructed a machine, the *electromagnetic multiplier*, which works with the precision of a clock, built by Mr Nándor SÜSS, Director of the Public Precision Mechanics Training Shop, with his usual craftsmanship.



**Süss Nándor (1848–1921)**



## 6. A súlyos és a tehetetlen tömeg arányossága

*Mérések torziós ingával – folyadékon úszó testtel*

### 6.1. Eötvös–Pekár–Fekete

Eötvös Loránd legjelentősebb tudományos eredményéről már olyan sokat írtunk, hogy most csak a kísérlet végrehajtási módját és néhány különlegességet említünk.

Azt az eddigiekből is láttuk, hogy *egyetlen* inga helyzetnél nem tudunk mérni semmit. Az első helyzet mindig csak referenciaként szolgálhat. Ugyanis a rúd végén elhelyezett tömegekre ható erők *eredő forgatónyomatékával* tart egyensúlyt az igen gondosan megmunkált 0,04 mm átmérőjű platina torziós szál forgatónyomatéka.

A súlyos és a tehetetlen tömeg arányosságát kimutató első méréseknél 1890 előtt a torziós rúd egyik végére 30 g tömegű sárgaréz golyót a másik végére pedig üveget, parafát, antimonit kristályt, majd 120 cm<sup>3</sup>-es levegővel telt üveggömböt erősített Eötvös. A rudat a meridiánra merőlegesen állította és távcsöves leolvasás alapján feljegyezte az inga házához és a rúdhöz rögzített skálák relatív helyzetét.

Ezután az ingát 180°-kal elfordította, és megállapította, hogy az egyensúlyi helyzetben nem történt változás. Ha az egyenlő súlyos tömegű testek tehetetlen tömege különböző volna, pl. az üvegnek nagyobb lenne a tehetetlen tömege, mint a rézé, akkor a nehézségi és a centrifugális erő eredőjének nagysága és iránya is más lenne. Ennek megfelelően ezeknek a rudat elforgató vízszintes összetevője is különbözne. Tételezzük fel, hogy az üvegnél ez a vízszintes összetevő nagyobb, mint a réznél. Egyensúly esetén a torziós szál a rézre ható erő forgatónyomatékával egyező irányú forgatónyomatékot kell, hogy adjon. 180°-kal történő elforgatás után ez a forgatónyomaték az amúgy is nagyobb hatást gyakoroló üvegnek segít, így a rúdnak el kellene fordulnia.

A mérés pontossága 1890-ben  $1/20\,000\,000 = 5 \cdot 10^{-8}$  volt. Később Pekár Dezsővel és Fekete Jenővel újabb és újabb anyagokat hasonlítottak össze és fokozták a pontosságot, az már  $1/200\,000\,000 = 5 \cdot 10^{-9}$  lett.

Méréseikről készített pályázatukkal elnyerték a göttingeni Georg August Egyetem 1909. évi 3400 márkás Benecke-díját. (A pályázatot csak a németek ismertették 1909-ben: Nachr. d. Königl. Gesellsch. d. Wissensch. in Göttingen. Geschäftl. Mitt. 1. Heft, idehaza – a szakirodalom szerint – ismertetés sem jelent meg róla) Nagy kár, hogy a pályázat anyagát nemzetközi folyóiratban csak Eötvös halála után, 1922-ben közölték.



Itthon is csak 1918-ban írtak róla a Matematikai és Physikai Lapok által a 70. születésnapra kiadott Eötvös-füzetben (Pekár—Fekete: A gravitáció és tehetetlenség arányosságáról; újabb megjelenése 1930-ban a Báró Eötvös Loránd Emlékkönyvben, 188–205.).

Eötvös maga beszámolt nemzetközi fórumon az arányossági mérésekről a 16. Nemzetközi Általános Földmérési Konferencián Angliában 1909-ben és írásának függelékeként, VI. fejezeteként közölte is az 1890-es és a legfrissebb adatait. Érdekes módon visszafogottabb volt, mint a pályaműben: a pontosságot  $1 \cdot 10^{-8}$  értékben adta meg. Ebben a konferenciakiadványban közölt *arányossági mérésekről* nem vett tudomást a szakma. A közvetlen munkatársak, szerzőtársak Pekár és Fekete nem említik 1918-ban, illetve Pekár Dezső nagy művében éppen hogy csak megemlíti 1941-ben. Egyedül Selényi Pál hivatkozik rá érdemben idehaza 1949-ben (Inertia and Gravity of Matter, *Hungarica Acta Physica*, 1, 7–11) és az amerikaiak 1989-ben (Fizikai Szemle, 39, 387).

A nagyfokú pontosság elérésének néhány titkát Pekár és Fekete 1918-as dolgozatából idézzük:

*„... zavarólag hathat a földmágnességi erő, ha a lelógó súly akármilyen kis mértékben is, de remanensen mágneses. Ezt a hatást azonban a földmágnességi erőt kompenzáló, az eszköztől elég távol elhelyezett mágnesrúddal vagy elektromágnessel tetszésszerűen kicsinnyé tehetjük.*

*Ugyancsak zavarólag hathatnak az elektrosztatikus hatások, amelyek a lelógó súly vagy a rúd s az azokat körülvevő fémfalak között jöhetnek létre. Ezeket jórészt elkerülhetjük, ha a belső felületeket lehetőleg homogénné tesszük azzal, hogy finom koromréteggel vonjuk be.*

*A különböző sugárzásokkal szemben már maga az eszköz elég jó védelmet nyújt, mert külső burka hármassfalú fémszekrényből áll. E hatásokat még jobban csökkentettük azzal, hogy az eszközt jól védett helyiségben s ott is az egyébként szabadban használatos kettős vászonzalú sátorban állítottuk fel.*

*A hőmérsékletváltozásból eredő hatásokat a mérődrót előre meghatározott hőmérsékleti együtthatójával már részben számításba vesszük, másrésztől meg azzal kisebbíthetjük, hogy a kellő helyen felállított eszközzel a megfigyeléseket éjjel végezzük.”*

Eötvös figyelme nagyon sok mindenre kiterjedt.

1. Megvizsgálták, hogy *a kémiai reakciók lefolyásakor* változik-e a tömegarány. Rézszulfátot oldottak vízben, ezüstszulfát-ferroszulfát reakciót hoztak létre: az esetleges eltérés a reakció előtt és után csak  $2 \cdot 10^{-9}$ -nél kisebb lehetett.



2. Megvizsgálták, hogy a Nap nem vonzza-e másképp a magnaliumot és a platínát. Az észak-dél irányba állított torziós rúd reggel és este is azonos állásban volt. A princetoni R. H. Dicke nagyon büszke volt arra, hogy az ő összeállítása a súlyos és a tehetetlen tömeg arányosságát nem a Föld, hanem a Nap vonzásával kapcsolatban vizsgálta meg. Amint láthatjuk: az ötlet nem volt új.

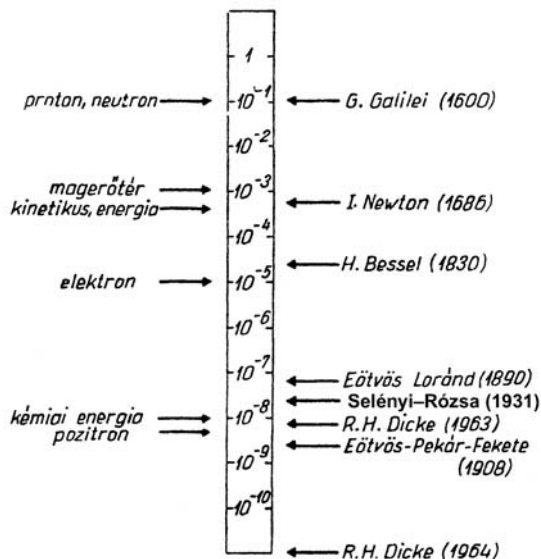
3. Vizsgálatokat végeztek napfelkelte előtt és napnyugta után annak eldöntésére, hogy a Föld elnyelheti-e a Nap gravitációs vonzásának egy részét. Megvizsgálták, hogy nagy ólomtömbök elnyelhetik-e a Föld vonzóerejét. Kimutatták, hogy a gravitációs hatást nem lehet leárnyékolni.

4. Kimutatták, hogy a platina és a radioaktív rádiumbromid vonzása közötti eltérés csak  $5 \cdot 10^{-7}$ -nél kisebb lehet.

5. Külön vizsgálták van-e a radioaktív anyagoknak valamilyen speciális vonzó vagy taszító hatásuk. A rádium és a platina közt bizonyos esetekben vonzó, máskor taszító hatást észleltek. A kísérlet gondos elemzésével és további ellenőrző kísérletekkel kimutatták, hogy a radioaktív anyag által termelt hő okozta a hatást.

Nem helytálló az a megállapítás, hogy Eötvöst nem érdekelték az új felfedezések. Figyelt ő rájuk, de csak a saját szempontjából.

Eötvös kísérleteinek érdekes értelmezését adja Marx György: „A 20. században



Részlet Marx György idézett cikkéből  
a szerző kiegészítésével

Detail of Marx's paper with complement

tanultuk meg, hogy egy kilogrammos rézgolyó 560,0 g neutron, 451,2 g protont és 0,24 g elektront tartalmaz. Egy kilogrammos ólomgolyóban 619,0 g neutron, 393,0 g proton és 0,21 g elektron van. Ha tehát a gravitáció csak a neutronokra hatna, a két egyenlő tehetetlenségű golyó súlya közt 9%-os különbség lépne fel, ami a két egyidőben elejtett golyó földetérési idejében olyan különbséget okozna, hogy azt már Galilei észrevette volna. – Feltételezhetjük azt is, hogy a gravitáció valamilyen módon a magerőkkel áll kapcsolatban, és a golyókat alkotó nukleonok (protonok és neutronok) számával: a barióntöltéssel arányos. Ekkor a gravitációs gyorsulás az atomfizikai A tö-



megszám és  $M$  atomsúly hányadosával lenne arányos. A viszonyszám függ az anyagi minőségtől, következésképp a rézgolyó és ólomgolyó esési ideje a negyedik jegyben mutatna eltérést, így ennek igazolása vagy megcáfolása csak a Bessel-féle kísérleti pontossággal lehetséges. (Természetesen akkor még a réz és ólom magszerkezeti differenciáiról mit sem tudtak.) Azt csupán az Eötvös-kísérlet bizonyítja, hogy az elektronnak is van súlya.” (Az Eötvös-kísérlet mai szemmel, Fizikai Szemle 16. 372–378.) Eötvös kísérletei alapján kijelentette, hogy a megadott hibahatáron belül a gravitációs vonzás független az anyag halmazállapotától, sűrűségétől, szerkezetétől, molekulatömegétől. Ezzel tulajdonképpen bizonyította az  $E=mc^2$  Einstein-i egyenlet érvényességét is – amint azt említett írásában Marx György is megállapította.

Mindezek ellenére Eötvös maga nem ezeket a méréseket tartotta legjelentősebb eredményének; ő gravitációs kutatásait értékelte legtöbbször. Így tett a német szaktekintélyek egy csoportja, javaslatukra a nehézségi gyorsulás vízszintes összetevője változásának egységét róla nevezték el.

1 eötvös =  $10^{-9}$  gal/cm; a cm-ben mért távolság vízszintes. 1 gal =  $1 \text{ cm/s}^2$ . A gal Galilei nevének kezdete.

**Így Eötvös Loránd nemcsak eredményes munkásságával hanem ezen fizikai egységen keresztül is kapcsolódik elődeihez Newtonhoz és Galileihez.**

## 6.2. Selényi–Rózsa

Selényi Pál életrajzából idézünk (Bodó Zsolt /szerk./: Selényi Pál összegyűjtött munkái – Pál Selényi Gesammelte Arbeiten, Akadémiai Kiadó, 1969, p. 14)

*„A tehetetlen és a nehézkező tömeg arányosságára vonatkozik a 40. sz. dolgozat (M. Rózsa und P. Selényi: Über eine experimentelle Methode zur Prüfung der Proportionalität der trägen und gravitirenden Masse. Zschr. f. Phys., 71, /1931/ 814.), amely Eötvös Loránd gondolkörének s vizsgálati módszerének továbbfejlesztését tartalmazva, nevezetesen arra a tényre mutat rá, hogy egy forgásban levő égitesten egy folyadékon úszó test csak akkor marad nyugalomban, ha a kétféle tömeg egymással arányos, vagyis ha nincsen speciális gravitáció. Szinte érthetetlen, hogy ez az egyszerű következtetés, amely azonban a gravitációs (65. sz. dolg.: Tehetetlen és nehézkező tömeg. Pótfüzetek a Természettudományi Közlethez, 72 (1940) 118.). együtt-ható állandóságát elszigeteltségéből kiemelve egyrészről egy mindennapi jelenséggel, a vízen úszó testek mozdulatlanságával, másrészről az égi mechani-*



kával, egy forgásban levő folyadékgömb egyensúlyi állapotával hozza kapcsolatba, úgy Eötvösnek, mint azóta is az  $e$  téren dolgozóknak figyelmét elkerülte. (Sajnos  $e$  dolgozatra is ugyanez a sors látszik várni, pedig érdemtelenül. Összefügg ez azzal, hogy a tudományban az egyszerűsége való törekvés, egyszerű kísérleti és gondolati eszközökkel való munkálkodás, és az egyszerűség megbecsülése is, divatját múlta!)”

Az 1931-es dolgozat igen egyszerű kísérlettel, vízre helyezett mágnesű mágnesrúd hatására történő elmozdulásának mikroszkópos vizsgálatával foglalkozik. A szerzők megmérték, hogy ezzel „az egészen primitív” kísérlettel a test súlyának  $10^{-8}$  részét kitevő vízszintes erőt már ki lehet mutatni. A vízre helyezett test nyugalomban marad, ez azt jelenti, hogy a Selényi–Rózsa-féle mérés 1/60 000-szer érzékenyebben bizonyítja a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát, mint Bessel, és csak ezerszer kevésbé érzékeny, mint Eötvös módszere.

Selényi 1949-ben foglalkozik újra a kérdéskörrel. Hivatkozik Eötvös 1909-es angol publikációjára: a Benecke-díjas mérések ismertetésére. Keresi az ő egyszerű ötletének gyökereit Eötvös munkájában. Idéz Eötvöstől: „*ebben az esetben a függőőn nem lenne merőleges a nyugalomban levő folyadék felületére*” és csodálkozva írja, hogy Eötvös nem említi ezen ténynek a vízen úszó testekre vonatkozó következményét. Végre az eredeti pályázat nem publikált részében rálel a következő mondatra: „*Elképzelhető a földi tárgyak szétválása, nevezetesen a pozitív  $\kappa$ -val rendelkezők a pólus felé, a negatív  $\kappa$ -val bírók pedig az egyenlítő felé mozdulnának el; de a tényleges effektív erő bizonyára túl kicsi és az ezzel szemben mutatott ellenállás túl nagy ahhoz, hogy ilyen szétválás létrejöjjön.*”

Selényi megnyugodott: Eötvös is gondolt arra, amire ő, csak nem végzett ilyen jellegű mérő kísérletet. A vízen úszó mágnesezett tű érzékeny reagálását – mint láttuk – demonstrációs kísérletben hasznosította.

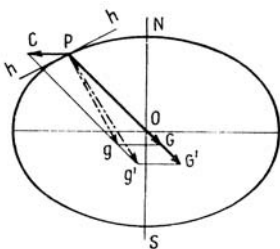


Fig. 1.  $NS$  — earth's axis,  $O$  — earth's center,  $PC$  — centrifugal force for unity of mass (1 g),  $PG$  — gravity of 1 g water,  $PG'$  — gravity of 1 g of another substance  $s$ ,  $Pg$  — weight of 1 g water,  $Pg'$  — weight of 1 g of the substance  $s$ ,  $hh$  — 'horizontal' of water (perpendicular to  $Pg$ ).

### Részlet Selényi írásából

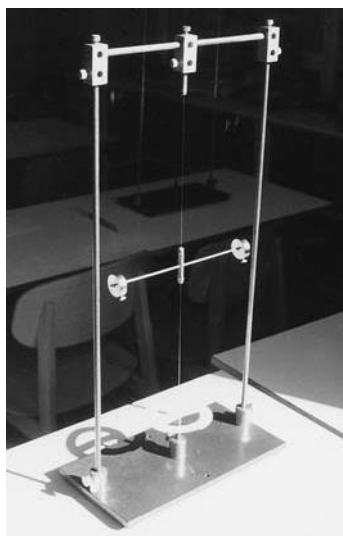
Detail of Selényi's paper





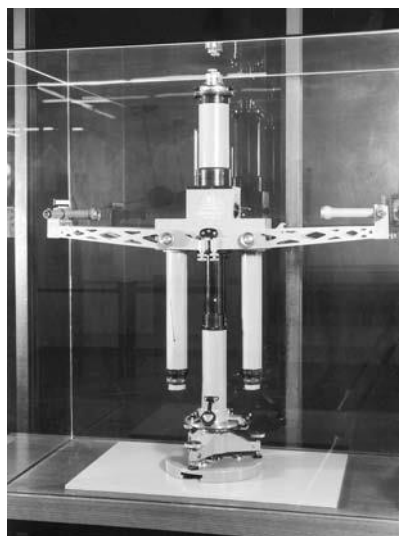
**Torziós inga díszkút az Eötvös Loránd  
Geofizikai Intézet előtt**

Torsion balance well in front of the Eötvös  
Loránd Geophysical Institution, Budapest



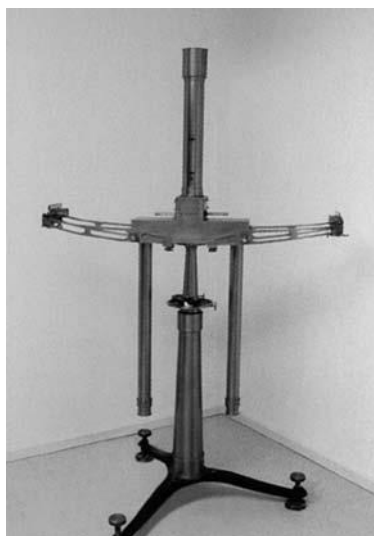
**Demonstrációs torziós inga**

Torsion balance for demonstration  
(Photos: L. Kovács)



**Eötvös-inga a Deutsches Museumban  
Münchenben**

Eötvös torsion balance at the Deutsches  
Museum Munnich (Photo: DM)



**Eötvös-inga az Eötvös Emlékkiállításon,  
Budapesten**

Eötvös torsion balance at the Eötvös  
Exhibition



# Contributions to the Law of Proportionality of Inertia and Gravity

by Loránd v. EÖTVÖS<sup>†</sup>, Desiderius PEKÁR and Eugen FEKETE  
(*Annalen der Physics*, 1922, pp. 11-66)

Translated by E. Fischbach, and C. Talmadge *Department of Physics, Purdue University, West Lafayette, IN 47907 USA* and J. Achtzehnter, M. Bickeböllner, K. Bräuer, P. Buck, and G. Lübeck *Institute for Nuclear Theory, Department of Physics, FM15 University of Washington, Seattle, WA 98195 USA*

This treatise is that work which was awarded the first prize of the Benecke Foundation for the year 1909 by the philosophical faculty of the University of Göttingen. Up to now its publication has been deferred for the reason that new investigations of the same kind with perfected Eötvös torsion balances promised even higher accuracy. Recently, however, the Eötvös torsion balance has been used in Hungary for practical purposes, for mining prospecting, which then executed on a larger scale again and again prevented the continuation of the above-mentioned investigations. But with regard to the great interest which has been expressed in the exact experimental results of this work in particular regarding the postulate of the theory of General Relativity by EINSTEIN the authors think that they can no longer withhold the communication of this discourse to the public. They believe that they thereby also comply with the intention of Baron Loránd v. Eötvös, who himself had already prepared the publication but was precluded from completion by his death on the 8th of April 1919. The original size of this work was initially about 10 printed sheets in length, which is why a considerable abridgement was necessary, but without touching the originality of the work. Primarily the long tables containing the observations were omitted and also those parts which do not affect the essence of the whole.

## 1. The problem as it is understood and treated here

The Newtonian law can be expressed as follows: Each smallest part of a body attracts every other with a force whose direction coincides with the connecting line of both parts, and whose magnitude is proportional to the product of their masses and



inversely proportional to their mutual distance. If  $M$  and  $m$  are two masses with  $r$  being their separation, then the magnitude of their mutual attraction is

$$P = f \frac{Mm}{r^2}$$

According to the principles of the Galilean-Newtonian mechanics, the acceleration of the piece of mass  $m$  towards  $M$  is then

$$\gamma = f \frac{M}{r^2}.$$

Hence proportionality of inertia and gravity is equivalent to  $f$  being a constant (NEWTON's constant of gravitation).

The extent to which the phenomena of gravitation comply with this shall now be primarily investigated by observations with the Eötvös torsion balance.

The investigations in this work will be carried out in two directions, first referring to the question of whether the gravitational attraction depends on the nature of the bodies, second, referring to the question closely related to this first one: if an influence on the attraction of a body by the presence of other bodies may be made perceptible, similarly as it is in the case for other effects such as for the phenomena of magnetic and electric induction and especially for heat and light absorption.

Experiments with radioactive substances shall be treated in a special section in this discourse.

## 10. Summary of the results

### 1. *Observations following the method of EÖTVÖS*

If we take  $f$  in Newton's formula

$$P = f \frac{mm'}{r^2}$$

to be dependent on the material of the attracted body and if we set

$$f = f_0 (1 + \kappa)$$

then we can represent the results of our observations through the specific attraction coefficient  $\kappa$ , which is deduced from these observations. Following now are the values of  $\kappa - \kappa_{Pt}$  with the mean errors in their calculation, where  $\kappa_{Pt} = 0$ , if  $f_{Pt} = f_0$ .



	$\kappa - \kappa_{pt}$
magnalium	$+0.004 \cdot 10^{-6} \pm 0.001 \cdot 10^{-6}$
snake wood	$-0.001 \cdot 10^{-6} \pm 0.002 \cdot 10^{-6}$
copper	$+0.004 \cdot 10^{-6} \pm 0.002 \cdot 10^{-6}$
water	$-0.006 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
crystal coppersulphate	$-0.001 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
copper sulphate solution	$-0.003 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
asbestos	$+0.001 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$
tallow	$-0.002 \cdot 10^{-6} \pm 0.003 \cdot 10^{-6}$

The mean values found for  $\kappa - \kappa_{pt}$  are smaller in four cases, larger in three cases, as their mean error, and in one case they are the same.

The probability, that the quantity is non-zero, is even in these cases nearly vanishing, because a review of the corresponding data of larger series shows nearly constant deviations from the mean value whose influence on this mean can be reduced only through even longer continued observations.

**The bodies under observation have very different specific weight, different molecular weights and molecular volume. Also they have different states of matter and different structure.**

**We believe that we are allowed to state, that regarding the attraction of the Earth, does not reach for all of these bodies the value of  $0.005 \cdot 10^{-6}$ .**

Regarding the question, whether the attraction changed because of a chemical reaction or dissolution in the attracted body, we get an even smaller limiting value.

The reason for this is, that we found for LANDOLT's silversulphate—iron-sulphate reaction

$$\kappa_{\text{before}} - \kappa_{\text{after}} = 0.000 \cdot 10^{-6} \pm 0.002 \cdot 10^{-6}$$

and for the dissolution of copper sulphate in water using the HEYDWEILLER ratio

$$\kappa_{\text{before}} - \kappa_{\text{after}} = 0.002 \cdot 10^{-6} \pm 0.002 \cdot 10^{-6}$$



## 2. Observations in the meridian

For the attraction of the Sun we found

$$\kappa_{\text{magnesium}} - \kappa_{\text{platinum}} = +0.006 \cdot 10^{-6}$$

## 3. Observations, regarding an influence similar to absorption or the attraction through intermediate bodies

From the experiments with the gravitation compensator (*a special sensitiv torsion balance*) we deduce, that a lead layer of 5 cm thickness will not cause an absorption, which reaches the value of  $0.00002 \cdot 10^{-6}$ .

Correspondingly: absorption of a lead layer of 1 m thickness  $< 0.0004 \cdot 10^{-6}$  Earth attraction, absorption through the Earth along its diameter  $< 1/800$  Earth attraction.

## 4. Observations with radioactive substances

From the experiments with a radium preparation of 0.20 g weight we get<sup>16</sup>

$$\kappa_{\text{RaBr}_2} - \kappa_{\text{Pt}} = -0.25 \cdot 10^{-6} \pm 0.50 \cdot 10^{-6}$$

From the experiments with another preparation we saw,

- a) that it does not have any specific attraction and repulsion on a platinum cylinder of 30 g weight at a distance of 4 mm, which would reach an order of  $10^{-6}$ ;
- b) that the preparation has no noticeable absorption on the Earth's attraction.

**With a few words we can summarize the final results of our work. We have made a series of observations, which are more exact than any of the previous ones. But in no case could we see a noticeable change from the law of proportionality of inertia and gravity.**

(Manuscript received February 27, 1922)

<sup>16</sup> The Translators suggest a positive sign.



# Inertia and Gravity of Matter

by Pál SELÉNYI

(*Hungarica Acta Physica*, 1, 1949. 7-11)

*Summary:* It follows from Eötvös' simple considerations underlying his famous experiment on the proportionality of inertia and gravity of matter that a body floating freely on a surface of water at rest could not be in equilibrium, were its constant of gravity different of that of the water, because the direction of its weight in this case would not be perpendicular to the surface of the water. As a consequence the body had to move northward or southward (to the poles or to the equator) accordingly whether its constant of gravity is supposed to be greater or lesser than that of the water, and on the same ground the rotation of a celestial body would cause the separation of the various substances constituting it. – In a preliminary report on this subject [2] observations on the first phenomenon had been described presenting at the same time a new experimental method for proving Newton's law of the proportionality of gravity and inertia, which even in our crude experiment went beyond the accuracy of 1 : 60 000 of Bessel's classical pendulum experiments. – In the present paper dealing with the same subject from a more general point of view, the author would like to emphasize the importance of the above conclusions laying particular stress on the non-existence of the mechanical effect in question, which he regards to be the most simple and most direct proof of the validity of Newton's law elucidating at the same time the important role of this law in the constitution of the Universe.

... We wish finally to point out the passages in Eötvös' papers related with our subject. In paper [1] dealing with the theory of his well known experiment quoted above, he calculates on pages 15-16 for different values of a supposed specific gravity the extremely small angle between the directions of the two 'verticals' belonging to two different substances and he remarks that „*in that case the plumb-line would in general, not be perpendicular to the surface of liquid at rest*“, but he doesn't mention the consequence of this as to the behaviour of a floating body. We would like to emphasize for the rest, that our considerations and the above experiment had been suggested at an earlier date by Eötvös' paper: „Geodetic Researches in Hungary, particularly those carried out with the aid of the torsional balance“. (*Report presented to the XVIth General Meeting of the International Association of Geodesy, London and Cambridge, 1909*) At the end of this paper, after stating that if there exists any difference at all in



the constants of gravity of the substances examined, such difference must, in accordance with his experiments, be smaller than one part in hundred million, he says: „It follows that two equipotential surfaces, belonging to two different substances and touching each other at the equator, will not diverge more than 0.014 cm on the poles“, and he adds: „Even if the physicist, by successive improvement of his methods of research, should in the future discover more minute traces of a selective gravity, the geodesist would confine himself to the determination of a single geoid, common for all substances.“ As appears from this quotation, this line of thought was only one step short of our experiment, this step being to ask, what will happen to a body if it is placed on an equipotential surface which is not its own.

September 6, 1948.

## REFERENCES

- [1] EÖTVÖS, R., PEKÁR, D. and FEKETE E., *Ann. d. Phys.*, (4) 68 (1922) 11-66.
- [2] RÓZSA, M. and SELÉNYI, P., *Zschr. f. Phys.*, 71 (1931) 814.
- [3] SELÉNYI P., *Természettudományi Közlöny, Suppl.* Apr.-Sept. 1940 (in Hungarian).

## NOTE

After closing my paper I had the opportunity to read the original, unabridged manuscript of [1], submitted in 1908 as a prize-work by Eötvös and his collaborators to the Beneke-foundation of the University of Göttingen. On page 14 Eötvös deals with the influence of a specific gravity on the form of the equipotential surfaces of the weight. Let  $g$  resp.  $g' = g(1-k)$  be the values of the acceleration of free fall for two different substances. Their equipotential surfaces, touching each other at the equator, will diverge in this case on the poles by

$$z = (x / 2g) \cdot r^2 \omega^2 = -1\,380\,250 \cdot x \text{ cm.}$$

Let e.g.  $x=1/20\,000\,000$  then  $z = -0.069$  cm.

Eötvös remarks moreover that positive values of  $x$  correspond to an elevation, negative ones to a depression on the poles, and he goes on saying: „One might imagine such a secretion of terrestrial substances, namely an accumulation of substances with positive  $x$  on the poles, and of those with negative  $x$  in the enviroment of the equator; but the eventual effective forces are certainly too small and the resistances against these too great to render such a separation possible.“

This sentence, never published, contains apparently the last step of the conclusions we missed in Eötvös' papers, but even here the subject was treated by him rather practically and experimentally and not from the point of view of principles.



## 7. Házi feladat

Feltehetően Eötvöstől származik az a fizikaszakmódszertani elv, hogy a „képlet-igazoló” demonstrációs kísérleteknél egyszerre mindig csak egy fizikai mennyiséget szabad változtatni. Eötvös, az ingák mestere szerkesztett egy igen egyszerű és ötletes eszközt a *fizikai inga* lengésideképletének ( $T$ ) igazolására.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{mgs}},$$

ahol  $\Theta$  az inga tehetetlenségi nyomatéka,  $mg$  a súlya és  $s$  a forgási tengely és az inga súlypontjának távolsága. Eötvös elérte, hogy  $\Theta$  (és természetesen  $mg$ ) *változása nélkül* tudta az  $s$ -t változtatni.

Hogyan csinálhatta?

(A feladat megoldása megtalálható a Báró Eötvös Loránd Emlékkönyvben Rybár István írásában a 247. oldalon.)

## Problem

Construct equipment to investigate the swing-time of a physical pendulum. The formula:

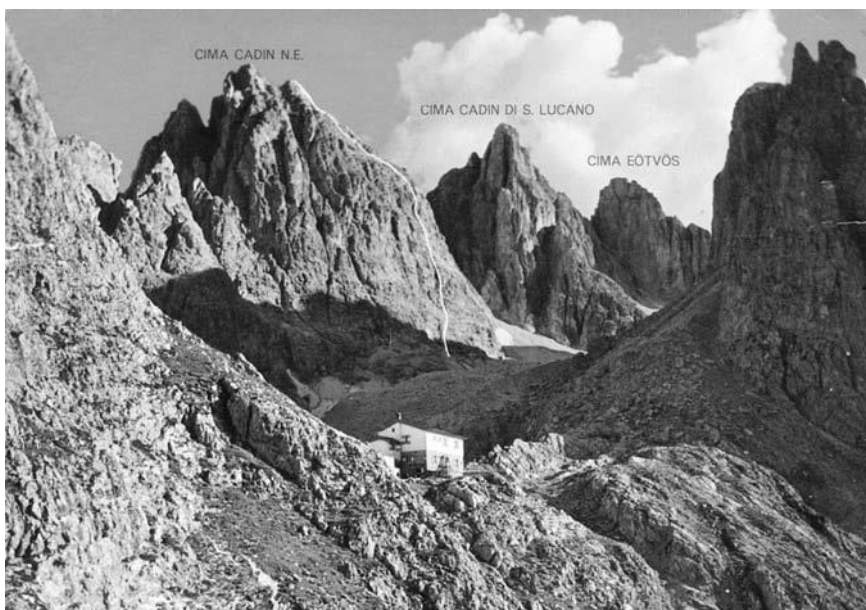
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Theta}{mgs}},$$

where  $\Theta$  is the inertial momentum,  $mg$  is the weight of the pendulum and  $s$  is the distance between the rotation axis and the center of the pendulum's mass.

Vary the value of  $s$ , while leaving the value of  $\Theta$  and of course the  $mg$  constant (in the demonstration experiment it is very important that only one value at a time be varied).

Could you solve this problem? Eötvös did.





**Eötvös-csúcs a Dolomitokban**  
Eötvös-peak in Italy



**A megtalált Eötvös-szobor Szarvason**  
We found this statue at Szarvas



# Eötvös Loránd irodalmi munkássága

## *Bibliography*

A bibliográfiát Galambos Ferenc állította össze. Forrás: Környei Elek: Eötvös Loránd a tudós és művelődéspolitikus írásaiból, Gondolat, 1964. A dőlt betűs szedés az önállóan megjelent munkákat jelöli, a vastag betűs kiemeléseket Kovács László tette.

Az *a, b*, jelű betoldások alapjául a Mikola Sándor—Renner János IX. Irodalom c. fejezet szolgált a Fröhlich Izidor (szerk) Bárány Eötvös Loránd Emlékkönyvből (Budapest, 1930)

### **1869**

1. A scarisorai jégbarlang. [2 képpel.] Vasárnapi Újság 1869. 673-675. l.

### **1871**

2. A rezgési elméletből következő távolbani hatás törvényéről [Kivonat.] A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1871. 207-212. l.
3. Doppler elve és alkalmazása a hang és fénytannál. Természettudományi Közöny 1871. –11. l.
4. Az északi fény színekről. Természettudományi Közöny 1871. 250-252. l.
5. A fluorescentia tanának egy törvényéről. Természettudományi Közöny 1871. 461-462. l.
6. Indítvány országos érdekű kutatások eszközzésére vonatkozólag. Természettudományi Közöny 1871. 470-471. l.

### **1872**

7. Van-e a holdnak befolyása az időjárásra? Természettudományi Közöny 1872. 35-37. l. [dr. Eö. betűjegy.]
8. Újabb Bunsen-féle galván-elemekről. Természettudományi Közöny 1872. 120. l. [dr. Eö. betűjegy.]
- 8.a A vízi növények életéből U. o. 160. l.
9. A víz színéről. Természettudományi Közöny 1872. 190-192. [E. L. betűjegy.]
10. A chlorophyll természetani szempontból. Természettudományi Közöny 1872. 192-193. l. [E. L. betűjegy.]
11. A nap phisikai alkatáról. Természettudományi Közöny 1872. 241-253. l.

### **1873**

12. A fény kettős töréséről. [Kivonat.] Természettudományi Közöny 1873. 39. l.
- 12.a Az égi testek látszólagos alakjáról, U. o. 39. l.
- 12.b A capillaritas elméletéről, U. o. 245. o.
13. Fényiró sugarak elnyeléséről a nap légkörében. Természettudományi Közöny 1873. 241. l. [Névtelen cikk, 1. Andorkó.]
14. A folyadékok összetartásáról. Természettudományi Közöny 1873. 242. l. [Névtelen cikk, 1. Andorkó.]
15. Légszivattyú, mely a hydraulikus lökésen alapszik. Természettudományi Közöny 1873. 242-243. l. [Névtelen cikk, 1. Andorkó.]



16. A villanyszikra némely hatásairól. Természettudományi Közlöny 1873. 243. 1. [Névtelen cikk, I. Andorkó.]

#### **1874**

17. *A rezgések intensitása, tekintettel a rezgési forrásnak és az észlelőnek mozgására.* Budapest 1874. Magyar Tudományos Akadémia. 23 1. [Értekezések a matematikai tudományok köréből 3. köt.]
18. *A rezgések intensitása, tekintettel a rezgési forrásnak és az észlelőnek mozgására.* [Kivonat.] A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1874. 147-150. 1.
19. Über die Intensität der wahrgenommenen Schwingungen bei Bewegung der Schwingungsquelle und des Beobachters. Pogg. Annalen der Physik 1874. 513-535. 1.

#### **1875**

20. Válasz Ketteler néhány észrevételére az észlelt rezgések intensitása felett. A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1875. 157-162. 1.

#### **1876**

21. **Új módszer a capillaritási tünetények tanulmányozására. Műegyetemi Lapok 1876. 2-10. 1. (Eötvös method)**
22. Schwere, Electricität und Magnetismus. Nach den Vorlesungen von B. Rieman. Mű. L. 56-57. 1.
23. Föladatok. 8. Műegyetemi Lapok 1876. 95. 1.
24. Föladatok. 20. Műegyetemi Lapok 1876. 288. 1.

#### **1877**

25. A távolbahatás kérdéséről. A Magyar Tudományos Akadémia Évkönyvei XVI. köt. 1877. 57-68. 1.
26. Föladatok. 29. Műegyetemi Lapok 1877. 96. 1.

#### **1878**

27. M. E. Mascart: Traité d'électricité statique. Műegyetemi Lapok 1878. 124-126. 1. [Eö. L. betűjegy.]
28. Alfred Niaudet: Traité élémentaire de la pile électrique. Műegyetemi Lapok 1878. 126. 1. [Eö. L. betűjegy.]

#### **1880**

29. Adatok az elektrosztatika elméletéhez. [Kivonat.] A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1880.45. 1.
30. Az elektromos sűrítő egy új módjáról, a sűrítő gyűrűről. [Kivonat.] A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1880. 157-160. 1.

#### **1881**

31. Jelentés a Bugát-féle alapítványból kitűzött physikai pályázat eredményéről. (Schuller Alajossal.) Természettudományi Közlöny 1881. 91-92. 1.
32. A cseppekről. Természettudományi Közlöny 1881. 394. 1.

#### **1882**

33. Kutatások a kapillaritás terén. [Kivonat.] A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1882. 48. 1.
34. Egy új electro-kapillár mozgatóról. [Kivonat.] A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője 1882. 106-107. 1.



## 1885

35. A folyadékok felületi feszültségeinek összefüggése a kritikai hőmérséklettel. *Mathematikai és Természettudományi Értesítő* 1884–1885. 54-73. 1.

## 1886

- 36-37. **A folyadékok felületi feszültsége és vegyi alkata között fennálló kapcsolatról.** *Mathematikai és Természettudományi Értesítő* 1886. 34-41. 1. (Eötvös törvény)
38. **Über den Zusammenhang der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten mit ihrem Molekularvolumen.** *Annalen der Physik und Chemie* 1886. 448-459. 1. (Eötvös Law)
39. Über den Zusammenhang der Oberflächenspannung der Flüssigkeiten mit ihrem Molekularvolumen. *Mathematische und naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn* 1886. 33-44. 1.

## 1887

40. Néhány szó az egyetemi tanítás kérdéséhez. (Nyílt levél Trefort Ágoston vall. és közokt. miniszter úrhoz.) *Budapesti Szemle* 1887. (50. köt.) 307-321. 1.

## 1888

41. Vizsgálatok a gravitatio jelenségeinek körében. *Természettudományi Közlöny* 1888. 477. 1.

## 1889

42. Elnöki székfoglaló beszéde. *A Magyar Tudományos Akadémia Értesítője* 1889. 145-149. 1.
43. A Szt. Gellérthegy vonzó erejére vonatkozó vizsgálatok. *Természettudományi Közlöny* 1889. 198. 1.
44. Akadémiai megnyitó. *Természettudományi Közlöny* 1889. 340-342. 1. [A „Természettudományi mozgalmak a hazában“ rovatban.]

## 1890

45. **A föld vonzása különböző anyagokra.** *Akadémiai Értesítő* 1890. 108-110. 1.
46. Andrássy Gyula elhunytáról jelentés. *Akadémiai Értesítő* 1890. 177-178. 1.
47. Nagy lengés-idők méréséről. [Kivonat.] *Akadémiai Értesítő* 1890. 274. 1.
48. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1890. máj. 11.] *Akadémiai Értesítő* 1890. 325-335. 1.
49. Stoczek József elhunytáról jelentés. *Akadémiai Értesítő* 1890. 402-403. 1.
50. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1890. okt. 6.] *Akadémiai Értesítő* 1890. 655-656. 1.
51. Über die Anziehung der Erde auf verschiedene Substanzen. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn* 1890. 65-68. 1.
52. Jelentés a fizikai kísérletek pályázatára beérkezett munkáról. (Schuller Alajossal.) *Természettudományi Közlöny* 1890. 100-102. 1.

## 1891

53. *Rectori székfoglaló beszéd, 1891, szept. 15.* Budapest 1891. ? 1. [Az OSZK-ból hiányzik. L. Szinnyei : Magyar írók. II. köt. 1366. 1.]
54. Simor János hercegprímás elhunytáról. *Akadémiai Értesítő* 1891. 178. 1.
55. Széchenyi István születése századik évfordulójának megünnepléséről. *Akadémiai Értesítő* 1891. 186. 1.
56. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1891. máj. 10.] *Akadémiai Értesítő* 1891. 32-325. 1.



57. Elnöki megnyitó beszéd. Széchenyi születésnapjának évenkénti megünneplésére indítvány. Akadémiai Értesítő 1891. 680-682. 1.
58. Jelentés Hunfalvy Pál elhunytáról. Akadémiai Értesítő 1891. 731. 1.
59. Messung von langen Schwingungsdauern. Mathematische und Naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn 1891. 450-451. 1.
60. Az Akadémia munkásságáról. [Kivonat.] Természettudományi Közlöny 1891. 325-326. 1.
61. Az egyetem feladatáról. Természettudományi Közlöny 1891. 505-514. 1.

## 1892

62. *A physika tanításáról az egyetemen.* Budapest 1892. ? 1. [Az OSZK-ból hiányzik. L. Szinnyei: Magyar írók. II kötet. 1366. 1.]
63. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1892. máj. 8.] Akadémiai Értesítő 1892. 30-303. 1.
64. Szaktársainkhoz. Matematikai és Fizikai Lapok 1892. 1-2. 1.
65. Feladatok. 2. Matematikai és Fizikai Lapok 1892. 98. 1.
66. A földi gravitációról. [Kivonat.] Matematikai és Fizikai Lapok 1892. 113. 1. Értesítő a Matematikai és Fizikai Társaság 1890/91. évbéli előadásairól.
67. Megjegyzések a Wiener-féle kísérletek magyarázatához. Matematikai és Fizikai Lapok 1892. 123-124. 1.
68. A Matematikai és Fizikai Társulat megalakulása. Megnyitó beszéd. Matematikai és Fizikai Lapok 1892. 179-180. 1.
69. A folyadékhártyák feszültségének mérése. [Kivonat.] Természettudományi Közlöny 1892. 211. 1.
70. A fizika tanításáról az egyetemen. Természettudományi Közlöny 1892. 296-301. 1.

## 1893

71. *Fizikai jegyzet.* Szerk.: Fried D. és Jellinek J. [Könyvism. Budapest 1893. 160 l.
72. Elnöki beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1893. jan. 15.] Akadémiai Értesítő 1893. 57-62. 1.
73. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1893. máj. 14.] Akadémiai Értesítő 1893. 315-316. 1.
74. Beszéd az Arany-szobor leleplezésén. Akadémiai Értesítő 1893. 338. 1.
75. A Matematikai és Fizikai Társulat rendes közgyűlése. Elnöki megnyitó. Matematikai és Fizikai Lapok 1893. 210-212. 1.
76. A földmágnesség indította áram mérése. [Kivonat.] Matematikai és Fizikai Lapok 1893. 220-221. 1.
- 76.a A tömegvonzás állandójának meghatározása. U. o. 398. 1.
- 76.b Kísérletek az elektromos erő és az elektromos ellenállás abszolút meghatározására és a földi tárgyak tömegvonzásának kimutatására, kivonat, Term. tud. közlöny 25. 1893. 267.

## 1894

77. Elnöki beszéd Kossuth Lajos elhunytának temetése alkalmából az Akadémia részvételének kifejezése iránt. Akadémiai Értesítő 1894. 243-244. 1.
78. Válasz az Akadémia üdvözlétére, miniszterre való kineveztetés alkalmából. Akadémiai Értesítő 1894. 559. 1.
79. Nyilvános tanintézeti igazgatók, tanárok, tanítók, igazgatónők és tanítónők nyugdíjaztatása és hozzátartozóik ellátása, kikről állami, vagy más hasonló természetű közrendelkezéssel gondoskodva nincs. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XIX. kötet. 197. 1.



80. Képzőművészeti kiállítási épület létesítése és az erre szükséges költség fedezése. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XIX. köt. 237-238. 1.
81. Vallás szabad gyakorlata. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XIX. köt. 265-267, 278, 283. 1.
82. Izraelita vallás. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XIX. köt. 296-297. 1.
83. Gyermekek vallása. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XIX. köt. 321-322. 1.
84. Vallás szabad gyakorlatára vonatkozó törvényjavaslatra vonatkozó főrendiházi üzenet. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XX. köt. 77-79. 1.
85. Polónyi Géza interpellációjára az esztergomi érsekségi javak bérbeadása és a katolikus autonómia tárgyában. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XX. köt. 439-442., 449-450. 1.
86. Közoktatás állapota. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XXI. köt. 91. 1.
87. Zichy Jenő gr. interpellációjára a múzeumi könyvtári és vegyes múzeumi bizottság kiküldése iránt tett indítványa és a Nemzeti Múzeumnak beküldendő nyomdai köteles példányokról szóló tvj.-a tárgyában. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XXI. köt. 394-396. 1.
88. Sierbán Miklós interpellációjára a balázsfalvi görög-katolikus érseki szék betöltése és a görög-katolikus és görög-keleti egyházi kongresszusok meg nem tartása tárgyában. A magyar Országgyűlés Képviselőházának naplója (1892-1896. ciklus) XXI. köt. 397-398. 1.
89. A Matematikai és Fizikai Társulat második rendes közgyűlése. Elnöki megnyitó. Matematikai és Fizikai Lapok 1894. 244-246. 1.
90. Beszéd a Matematikai és Fizikai Társulat 1894. okt. 25-i ünnepélyes ülésén. Matematikai és Fizikai Lapok 1894. 309 -311. 1.

## **1895**

91. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1895. máj. 12.] Akadémiai Értesítő 1895. 32-325. 1.

## **1896**

92. A m[agyar] tud[ományos] Akadémia felirata a képviselőházhoz. Akadémiai Értesítő 1896. 489-491. 1.
93. Elnöki üdvözlő beszéd Ferenc József jelenléte alkalmából megtartott akadémiai ünnepélyes közgyűlésen. Akadémiai Értesítő 1896. 295-296. 1.
94. Untersuchungen über Gravitation und Erdmagnetismus. Annaler der Physik und Chemie 1896. 354-400. 1.
95. Jedlik Ányos. Matematikai és Fizikai Lapok 1896. 1-3. 1.
96. Vizsgálatok a gravitáció és a mágnesség köréből. Matematika és Fizikai Lapok 1896. 221-266. 1.

## **1897**

97. *Jedlik Ányos emlékezete. 1800-1895.* Budapest 1897. Hornyánszky ny. 20 1. [Klny. az Akadémiai Értesítőből.]
98. Jedlik Ányos emlékezete. Akadémiai Értesítő 1897. 273-289. 1.
99. Jedlik Á. emlékezete. Természettudományi Közöny 1897. 387-402. 1.



## 1898

100. Elnöki megnyitó beszéd a Wahrmann-érem átnyújtásakor. Akadémiai Értesítő 1898. 145-146. 1.
101. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1898. máj. 8.] Akadémiai Értesítő 1898. 269-272. 1.
102. Zichy Antal elhunytáról. Akadémiai Értesítő 1898. 352. 1.
103. Erzsébet királyné elhunytáról. Akadémiai Értesítő 1898. 413-414. 1.
104. A Matematikai és Fizikai Társulat ötödik rendes közgyűlése. Elnöki megnyitó. Matematikai és Fizikai Lapok 1898. 260-261. 1.

## 1899

105. *Fizikai jegyzet*. tanár úr egyetemi előadásai után. [Könyomat.] Budapest [1899.] Lengyel. 293 l.
106. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1899. máj. 7.] Akadémiai Értesítő 1899. 265-270. 1.
107. A Matematikai és Fizikai Társulat hatodik rendes közgyűlése. Elnöki megnyitó. Matematikai és Fizikai Lapok 1899. 215 -216. 1.
108. A mágneses haladtató erőről. [Kivonat.] Természettudományi Közlöny 1899. 304. 1.
109. A tudományos akadémiák létjoga. Természettudományi Közlöny 1899. 321-326. 1.

## 1900

110. Jelentés a berlini kir. porosz akadémia kétszáz éves ünnepéről. Akadémiai Értesítő 1900. 204. 1.
111. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1900. máj. 6.] Akadémiai Értesítő 1900. 289-292. 1.
112. Kőrösi Csoma Sándorról. Akadémiai Értesítő 1900. 331-332.
113. Nyitó beszéd az okt. 8-i összes ülésen. [Magyar Tudományos Akadémia.] Akadémiai Értesítő 1900. 533. 1.
114. Elnöki megnyitó. [Magyar Tudományos Akadémia Vörösmarty-ünnepé.] Akadémiai Értesítő 1900. 585-586. 1.
115. A nehézség és a mágneses erő vízfelületeinek és változásainak meghatározása. Matematikai és Fizikai Lapok 1900. 361-385. 1.
116. Étude sur les surfaces de niveau et la variation de la pesanteur et de la force magnétique. Rapports présentés au Congrès International de Physique réuni à Paris en 1900. III. 6. köt. 371-393. 1.
117. A mágneses inklinációról a múlt időben. [Kivonat.] Természettudományi Közlöny 1900. 246. 1.

## 1901

118. *A Föld alakjának kérdése*. Bp. 1901. Pester Lloyd ny. 8 l. [Klny. a Természettudományi Közlönyből.]
119. Elnöki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1901. máj. 12.] Akadémiai Értesítő 1901. 261-269. 1.
120. Megfigyelések a Balaton jegén. Matematikai és Fizikai Lapok 1901. 256. 1.
121. A föld alakjának kérdése. Természettudományi Közlöny 1901. 321-328. 1.

## 1902

122. Jelentés az 1900-iki Rózsay-díjról. Akadémiai Értesítő 1902. 471. 1.

## 1903

123. Beszéd a kolozsvári Bolyai-emlékünnepe. Akadémiai Értesítő 1903. 110. 1.
124. Elnöki megnyitó. [Magyar Tudományos Akadémia, 1903. máj. 10.] Akadémiai Értesítő 1903. 313-319. 1.



125. Jelentés a kolozsvári Bolyai-ünnepről. Akadémiai Értesítő 1903. 107-108. 1.
126. Változhatatlan mértékegységek. Természettudományi Közlöny 1903. 369-374. 1.

#### 1904

127. Enőki megnyitó beszéd. [Magyar Tudományos Akadémia, 1904. máj. 15.] Akadémiai Értesítő 1904. 253-254. 1.

#### 1905

128. Levél elnöki lemondásáról. Akadémiai Értesítő 1905. 514-515. 1.

#### 1906

129. Programme des recherches gravimétriques dans les régions vésuviennes. Comptes rendus des séances de la première réunion de la commission permanente de l'Association International de Sismologie réunie à Rome. 1906. 177-179. 1.

#### 1907

130. *Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage.* Leiden 1907. Brile. 59 1., 1 t. [Klly. az Abhandlungen der 15. Allgemeinen Konferenz der Erdmessung in Budapest 1906 c. műből.]
131. *Kritikai jegyzet gyógyszerészhallgatók számára.* B. E. L. előadásai nyomán összeállították Légrády Erzsébet és Weber Dezső. 2. kiad. [Könyomat.] Budapest 1907. Pátria ny. IV, 121 l.

#### 1908

132. *A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai.* Budapest 1908. Kilián. 61 [3] 1. [A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei 1. kötet. 1. rész, geofizikai függelék 2.]
133. *Die Niveauflächen und die Gradienten der Schwerkraft am Balatonsee.* Beobachtungen auf der Eisdecke in den Jahren 1901 und 1903. Wien 1908. Hölzel. 64 1. [Klly. a Resultate der wissenschaftlichen Erforschung der Balatonsees I. 1. c. műből.]

#### 1909

134. *Sur les travaux géodétique exécutés en Hongrie, spécialement à l'aide de la balance de torsion.* Budapest 1909. Imp. Hornyánszky. 40 1., 1 térkép.
- 134.a **Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage, Verhandl. d. XVI. allg. Konferenz der internat. Erdmessung in London und Cambridge, 1909.** (One can find here data on measurements of  $M/m$ .)
135. *Über geodetischen Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage.* Budapest 1909. Druck Hornyánszky. 42 1., 1 térkép.

#### 1910

136. *Kísérleti fizika.* egyetemi előadásai nyomán írta Domán Jenő. Budapest 1910. Természettudományi Szöv. 104 1.

#### 1911

137. *Physika kérdések és feleletekben.* szigorlatai alapján összeállította Fuchs Gyula. Budapest 1911. Pallas. 22 1.



## 1912

138. *Über Arbeiten mit der Drehwage.* Berichte an die XVII. Allgemeine Konferenz der Internationalen Erdmessung. Budapest 1912. Druck Hornyánszky. 17 1., 1 térkép.
139. *Fizikai jegyzet.* egyetemi előadásai alapján. 2. félév. [Litográfia.] Budapest 1912. [Thalia ny.] [2] 97 [1] 1.
140. Bericht über Arbeiten mit der Drehwage ausgeführt im Auftrage der kön. ung. Regierung in den Jahren 1909-11. Verhandl. d. XVII. allg. Konferenz der internat. Erdmessung in Hamburg, 1912. I. 427438. 1.

## 1913

141. A Matematikai és Fizikai Társulat huszadik rendes közgyűlése. Elnöki megnyitó. Matematikai és Fizikai Lapok 1913. 427-428. 1.
- 141.a ismertetése: Uránia, 1913. 36. 1.
- 141.b Geofizikai kutatások Kecskemét vidékén. Uránia, 1913. 36. 1.

## 1916

142. A Matematikai és Fizikai Társulat XXIII. rendes közgyűlése. Elnöki megnyitó. Matematikai és Fizikai Lapok 1916. 93-94. 1.

## 1918

143. *A Balaton nivófelülete s azon a nehézség változásai.* Erre vonatkozólag az 1901. és 1903. évben a jég hátán végzett megfigyelések. Budapest 1918. Hornyánszky ny. 61 1. [Klly. a Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei c. műből.]
- 143.a A nehézségről a Földön mozgó szerkezetekben ismertetése Uránia 1918. 299-201.

## 1919

144. Experimenteller Nachweis der Schwereänderung die ein auf normal geformter Erdoberfläche in östlicher oder westlicher Richtung bewegter Körper durch diese Bewegung erleidet. Annalen der Physik 1919. 743-752. 1. (*Eötvös effect*)

## 1920

145. *Kísérleti kimutatása annak a nehézségi változásnak, amelyet valamely mozgó test szenved.* Budapest 1920. Franklin. 28 1. [Klly a Matematikai és Természettudományi Értesítőből.]
146. **Kísérleti kimutatása annak a nehézségi változásnak, amelyet valamely, a szabályos alakúnak felvett földfelületen keleti vagy nyugati irányban mozgó test e mozgás által szenved. Matematikai és Természettudományi Értesítő 1920. 1-28. 1. (*Eötvös hatás*)**

## 1922

147. **Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit un Gravität. (Pekár Dezsővel és Fekete Jenővel.) Annalen der Physik 1922. 11-66. 1.**

## 1953

148. *Gesammelte Arbeiten.* Hrsg. [und Vorwort] von P[ál] Selényi. Budapest 1953. Akadémiai Kiadó, Akadémia ny. LXXX, 384 1., 4 t.

## 1954

149. A föld vonzása különböző anyagokra. Fizikai Szemle 1954. 90-91. 1.



### Év nélkül

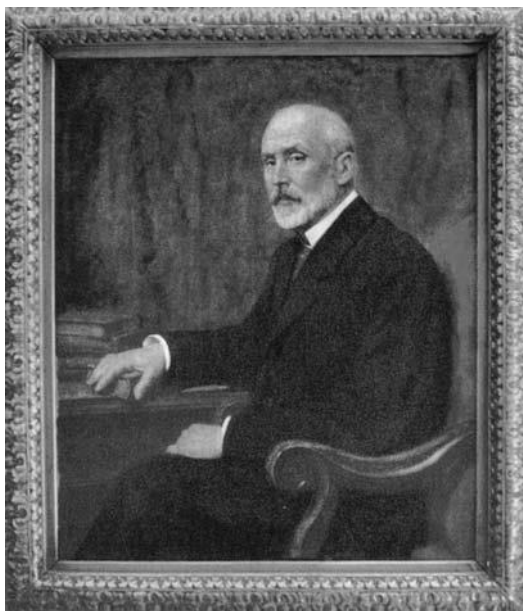
150. *Kísérleti természettan.* Méltóságos tanár úr előadásai után. [Litográfia.] Budapest [é. n.] 456 l.

### FORDÍTÁSOK

151. *Helmholtz, H[ermann Ludwig Ferdinand]: Népszerű tudomány előadások.* Fordította b. *Eötvös Loránd* és *Jendrassik Jenő*. Budapest 1874. Természettudományi Társulat. XI [1], 389 [3] l. [A Kir[ályi] Magy[ar] Természettudományi Társulat Könyvkiadó Vállalata 6.]
152. *Darwin, G[eorge] H[oward]: A tengerjárás és rokontünemények naprendszerünkben.* Fordította *Kövesligethy Radó*. Az *eredetivel összehasonlította b. Eötvös Loránd*. Budapest 1904. Természettudományi Társulat. XVI, 308 l. [Természettudományi Könyvkiadó Vállalat 73.]
153. *Tyndall: A Jungfrau megmászása.* Fordította *E[ötvös] L[oránd]*. Természettudományi Közlöny 1872. 383-389. l.

### SZERKESZTÉS

154. *Mathematikai s természettudományi közlemények vonatkozólag a hazai viszonyokra.* Szerk. 1881-től 1890-ig b. *Eötvös Loránd*.



**Éder Gyula festménye (1941)**

Painting by Gyula Éder



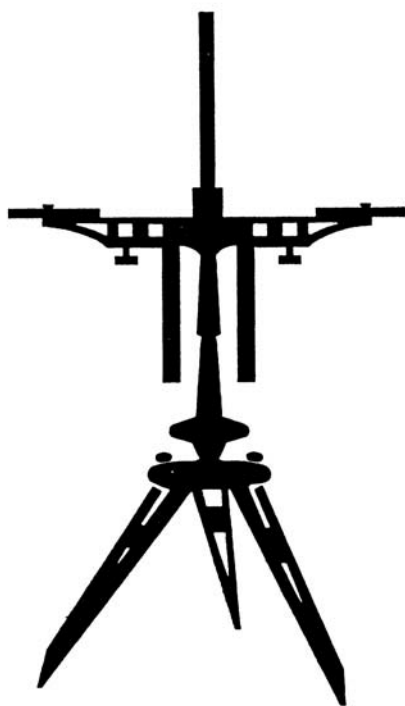
# Felhasznált irodalom

## *References*

1. Környei Elek: Eötvös Loránd a tudós és művelődéspolitikus írásaiból, Gondolat, 1964.
2. Bodó Barna: Eötvös Loránd tudományos és művelődéspolitikai írásaiból, Kriterion, 1980.
3. Fröhlich Izidor (szerk): Báró Eötvös Loránd Emlékkönyv, MTA, Budapest, 1930.
4. Selényi Pál (szerk.): Eötvös Loránd összegyűjtött munkái – Roland Eötvös gesammelte Arbeiten, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1953.
5. Zoltán Szabó (ed.): Three fundamental Papers of Loránd Eötvös, Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, 1998.
6. Pekár Dezső: BÁRÓ EÖTVÖS LORÁND A torziós inga ötven éves jubileumára, A Kis Akadémia kiadása, Budapest, 1941.
7. Bodócs István: Az Eötvös-hatásból származó súlykülönbség meghatározása, Fizikai Szemle, *II*, 214-216.
8. Király Péter: Új fejlemények az Eötvös-kísérlet körül, Fizikai Szemle *36*, 365.
9. Nieto M. M. – Hugnes R. J. – Goldmann T.: Eötvös valójában már 1910-ben publikálta eredményeit, Fizikai Szemle, *39*, 387.
10. M. Zemplén Jolán – Egyed László: Eötvös Loránd, Akadémiai Kiadó, 1970.
11. Bodó Zsolt (szerk): Selényi Pál összegyűjtött munkái – Pál Selényi Gesammelte Arbeiten, Akadémiai Kiadó, 1969.



# HISTORY TEACHING PHYSICS



Teacher Training College  
Szombathely, Hungary  
28–30 August, 1994

**Az 1994-es nemzetközi fizikatörténeti konferencia kiadványának borítója**

Front cover of the conference's prospect



STUDIA PHYSICA SAVARIENSIA (SPS)

Redigit

Kovács László

Berzsenyi Dániel Főiskola Fizika Tanszék

9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

A sorozat eddig megjelent kötetei:

Volumes:

TOMUS I.

HISTORY OF SCIENCE IN TEACHING PHYSICS

TOMUS II.

JÁTÉKOS, GONDOLKODTATÓ FIZIKAOKTATÁS

TOMUS III.

FIZIKAI ÉS INFORMATIKAI NAPOK

TOMUS IV.

F. S. WAGNER: WIGNER JENŐ, AZ ATOMKOR EGYIK MEGALAPÍTÓJA

TOMUS V.

ABONYI IVÁN: SZILÁRD LEÓ 1898–1964

TOMUS VI.

KOVÁCS LÁSZLÓ: HEVESY GYÖRGY 1885–1966

TOMUS VII.

L. KOVÁCS – L. KOVÁCS JR.: GEORGE DE HEVESY 1885–1966