

Eötvös Loránd gravimétere

SZABÓ Z.

Eötvös Loránd nevének hallatán mindenkinek világhírűvé vált torziós ingája jut az eszébe. Pedig Eötvös, akinek ekkorra már volt tapasztalata a terepi mérések nehézségeiről, szeretett volna egy kisméretű, könnyen szállítható és kezelhető gravimétert alkotni. Galilei szabadesési kísérleteinek csakúgy, mint a fizikai inga lengésidejének mérése pontosságát az időmérés pontossága határozta meg. Eötvös ugyan szerkesztett egy zseniális eszközt az inga lengésideje mérési pontosságának növelésére (forgómérleg), de a saját maga elé állított követelményeket nem tudta elérni. A modern graviméterek a rugós mérleg elvén alapulnak, de ennek megfelelő pontosságú megvalósításával szemben ugyancsak áthághatatlannak tűnő technikai akadályok merültek fel. Feltehetően A. Schmidt által 1900-ban publikált trifiláris graviméterének leírását olvasva jutott el Eötvös a bifiláris graviméter ötletéhez, hiszen ekkor már a torziós ingával elérte a szögelfordulás megfelelő mérési pontosságát. A kísérleti eredmények azonban nem igazolták elvárásait, ezért a témát elvetette és nem publikálta kísérleteit. Az Eötvös-hagyatékban fennmaradt eszközök és jegyzőkönyvek alapján próbáltuk meg rekonstruálni Eötvös graviméterének történetét, melyhez szorosan hozzátartozik W. Schweydar 12 évvel későbbi bifiláris graviméterének története, aki nagy valószínűséggel Eötvös ötletét próbálta megvalósítani speciális laboratóriumi körülmények között, de ugyancsak sikertelenül. Schweydar levelezésben állt Eötvössel, torziósingák-kísérleteihez Eötvöstől kért és kapott – az inga lelkét jelentő – torziós szárlakat. A Schweydar által módosított ingán alapultak a későbbiekben gyártott ASKANIA-ingák, melyek a 20-as, 30-as években a budapesti Süss gyárban készített ingák legfőbb vetélytársai lettek a világpiacon.

Szabó, Z.: The gravimeter of Loránd Eötvös

Anybody, hearing the name of Loránd Eötvös, would think of his world-famous torsion balance. But Eötvös, who had already long experience in field work, wanted to construct a small, easy-to-handle gravimeter, as well. The sensitivity of all former attempts in measuring Earth's gravity, like Galilei's free fall or all later experiments with the physical pendulum were limited by the accuracy of time measurement of their time. Although Eötvös, had already constructed a congenial tool for increasing the accuracy of swing-time measurements, the rotating balance, he could not reach the accuracy requirements, he prescribed for himself. Modern gravimeters are based on the principle of spring balances, but again the accuracy requirements seemed unreachable in the technical possibilities of his time. We may suppose that reading in A. Schmidt's publication (1900) the description of his trifilar gravimeter provided the idea of a bifilar gravimeter for Eötvös, in which he could use the same solution of high-accuracy deflection measurement used in torsion balances. Experiments with the bifilar gravimeter, however, did not meet his expectations, therefore he left the whole idea and did not publish his experiments.

The experimental tool and the observational records remaining in Eötvös's inheritance, enabled us to reconstruct the history of Eötvös's gravimeter. W. Schweydar's bifilar gravimeter, constructed 12 years later for special laboratory conditions, was most probably based on Eötvös' idea, and similarly ended without success. Schweydar and Eötvös were in continuous correspondence: Schweydar asked and received torsion wires for his torsion balance experiments from Eötvös. In his publication in 1914, Schweydar described the theory of the bifilar gravimeter, referring to A. Schmidt's trifilar gravimeter. The torsion balances produced by the German ASKANIA, Co. in the 1920s and 30s were based on Schweydar's balance and were the only rivals on the world market to Eötvös' balances produced in the Budapest-based Suess factory.

After World War II the need for producing gravimeters emerged in the Eastern bloc as modern American and Canadian gravimeters were on the EMBARGO list. Development started in the Soviet Union, but the resulting tool was unusable because of its high sensitivity to temperature variations. This fiasco gave the idea to the researchers of ELGI's torsion balance laboratory to try to revive Eötvös' bifilar gravimeter. All attempts only proved that Eötvös was right in his decision in leaving the idea without publishing anything about his gravimeter.

A gravitációs mérés története

A Föld felszínén lévő testekre két erő hat: egyrészt a Föld tömege által kifejtett tömegvonzás, másrészt a Föld forgómozgása következtében fellépő centrifugális erő. E kettő eredője alakítja ki a Föld nehézségi (gravitációs) erőterét, amely a térerősséggel, más néven a nehézségi gyorsulással jellemezhető. Ennek értéke legkisebb az Egyenlítőn és leg-

nagyobb a pólusokon. E két érték közötti különbség azonban alig haladja meg a teljes érték 0,5%-át.

Azt, hogy a nehézségi gyorsulás a Föld felszínén változik, Jean Richer francia kutató fedezte fel 1672-ben. Csillagászati méréseket végzett az Egyenlítő-közelében Francia Guayanában, és azt tapasztalta, hogy a Párizsban pontosan járó ingaórája naponta 2,5 percet késik. Azt tudták, hogy az inga lengésideje a lengő hosszától és a nehézségi gyorsulás

nagyságától függ. Tekintettel arra, hogy az inga hossza nem változott, arra a következtetésre jutott, hogy az ingára ható nehézségi gyorsulásnak kellett megváltoznia. A nehézségi gyorsulás meghatározása tehát visszavezethető az inga lengésidejének mérésére, azaz időmérésre.

Pierre Bouguer, ugyancsak francia tudós, a Föld alakját meghatározó fokmérések során 1735–43 között Peruban végezte az első nehézségi gyorsulás-méréseket. Ettől kezdve, egészen az 1930-as évekig különböző ingákat használtak a nehézségi gyorsulás meghatározására. Az is kiderült, hogy sokkal pontosabb eredményeket lehet elérni, ha nem töreksenek a nehézségi gyorsulás abszolút értékének meghatározására, hanem megelégszenek két pont közötti különbségének mérésével. Erre a célra szolgáltak az ún. relatív ingák, amelyeknél a lengésidek különbségéből határozták meg két pont között a nehézségi gyorsulás változását.

Áttörést hozott a gravitációs kutatásokban Eötvös Loránd tevékenysége, aki 1891-ben olyan torziós ingát fejlesztett ki, amellyel a gyorsulás nagyságát nem, de annak horizontális irányú változását a mai napig elegendő pontossággal meg tudta határozni.

Egy másik mérési lehetőségre Sir John Herschel angol kutató hívta fel a figyelmet 1833-ban. Ennek lényege: egy rugóra függesztett tömeg, amelynek súlya a nehézségi gyorsulás értékétől függ. A rugó megnyúlása, ill. a tömeg elmozdulása arányos lesz a nehézségi gyorsulással. Az ezen elven alapuló eszköz a modern graviméterek őse, amely konstrukciós okokból csak az 1930-as években érte el, ill. haladta meg az ingamérések pontosságát.

A fentiekől teljesen eltérő elven működő „graviméterrel” mért O. Hecker az 1900-as évek elején a világtengereken. A mérés elvét az oslói Mohn publikálta 1899-ben, a megvalósítás azonban Hecker érdeme. A művelet abból állt, hogy egymás mellett használtak egy forráspontmérő készüléket és egy higanybarométert, és összehasonlították a légkör valódi nyomását – amelyet a nem zárt gőz hőmérséklete jelzett – a barométeroszlop magassága által jelzett nyomással.

A higanyos barométerben a higanytömeg egy bizonyos magasságba emelkedik a légköri nyomás kiegyenlítése érdekében, és ez a magasság a légkör azonos abszolút nyomása mellett a barometrikus oszlopban lévő higanytömeg súlyának megfelelően nagyobb vagy kisebb. És mivel a higanytömeg súlya a gravitációtól függ, egy adott helyen meghatározott kapcsolatnak kell fennállnia a higanybarométer magassága és a víz forráspontja között. Ez az összefüggés megváltozik, ha egy másik helyre megyünk, ahol a g értéke változik.

A módszer gyakorlati alkalmazhatósága attól függ, hogy a műszeres leolvasások mennyire pontosan figyelhetők meg egy tengeren lévő hajó fedélzetén. Egy jó barométerrel a légnyomásértékek a mm 50-ed részétől a mm 20-ad részéig terjedő pontossággal meghatározható. Ahhoz, hogy a hőmérővel olyan pontos értéket kapjunk, amely megfelel annak, amellyel a barométer leolvasható, a hőmérőnek a forráspont hőmérsékletét a század mm-es pontossággal kell megadnia. 760 mm-es barometrikus magasság-



1. ábra | Az O. Hecker által használt „graviméter”

Figure 1 | The „gravimeter” used by O. Hecker

nál 1 tized mm 0,0037 fok hőmérsékletnek vagy 1 század mm 0,00037 foknak felel meg; 650 mm-es barometrikus magasságnál pedig 1 tized mm 0,005 egy fok hőmérsékletnek, egy század mm pedig 0,0005 foknak felel meg. Ezért ahhoz, hogy a valódi légköri nyomást a mm huszadrészének pontosságával kapjuk meg, a forráspont-hőmérőnek a hőmérsékletet 0,002 fok pontossággal kell megadnia.

O. Hecker, aki egész életét a nehézségi erő mérésének szentelte, az óceánokon mozgó hajókon végzett méréseinek feldolgozása során nem vette figyelembe a Föld forgásának hatását. Hecker 1910. évi dolgozatát olvasva Eötvös felfigyelt erre a hiányosságra, és felhívta rá a szerző figyelmét, aki azonban kételkedett Eötvös igazában, és vele szemben a problémát más kiváló fizikusok elé terjesztette, majd külön költséges expedíciót szervezett a kérdés eldöntésére. Ennek az epizódnak köszönhető az Eötvös-hatás felfedezése.

Terepen használható és 0,1 mgal vagy annál pontosabb gravimétereket elsősorban az USA-ban és Németországban kezdtek el gyártani az 1930-s évek második felében. A II. Világháború után, mivel a kőolaj és földgáz stratégiai nyersanyag, a felkutatásukat lehetővé tevő graviméterek kiviteli tilalom – embargó – alá estek. A volt szocialista tábor országai közül a Szovjetunióban foglalkoztak graviméterek kifejlesztésével az 50-es években, de ezek az eszközök elsősorban nagyfokú hőérzékenyséjük miatt nem tudtak megfelelő pontosságot garantálni. Ezért merült fel az ötlet, hogy Magyarország kezdjen el ismét Eötvös-ingákat gyártani, ami 1956–65 között meg is történt.

1. táblázat | A gravitáció mérésének fejlődésmenete
Table 1 | Development of gravity measurement techniques

1589	Galileo Galilei	Szabadesés, ingamozgás
1657	Christiaan Huygens	Centrifugális erő, ingaóra
1672	Jean Richer	Észleli a gravitáció térbeli változását
1686	Isaac Newton	fejére esik az alma (I. és II. axioma)
1735–1743	Pierre Bouguer	Az első g -mérés ingával Peruban
1818	H. Kater	Reverziós (fizikai) inga
1833	John Herschel	A rugós mérleg alkalmazása
1859	W. Siemens	Leírja a barometrikus graviméter elvét
1862	F. M. Perrot	Leírja a szögelforduláson alapuló mérést
1866	von Wüllerstorff-Urbair	Agmeghatározásahiganyosésaneroïdbarométeradatainakösszevetéséből
1879	R. Sterneck	Kifejleszti első relatív ingáját (± 22 mGal)
1891	Eötvös Loránd	Kifejleszti első torziós ingáját
1898–1904	Kühnen és Furtwängler	Potsdami reverziós ingamérései (± 3 mGal), az eredmény 14 mGal-lal nagyobb a ténylegesnél
1899	Mohn	Az aneroïd barométert forráspont-mérővel helyettesíti
1900	R. Threlfall, J. Pollock	Megvalósítják Perrot ötletét
1900	A Schmidt	Kidolgozta a trifiláris graviméter elvét
1901	Eötvös Loránd	Bifiláris gravimétere
1903	O. Hecker	Tengeri mérései (± 30 mGal)
1914	W. Schweydar	Bifiláris gravimétere
1923	F. A. Vening Meinesz	Tengeri ingamérései

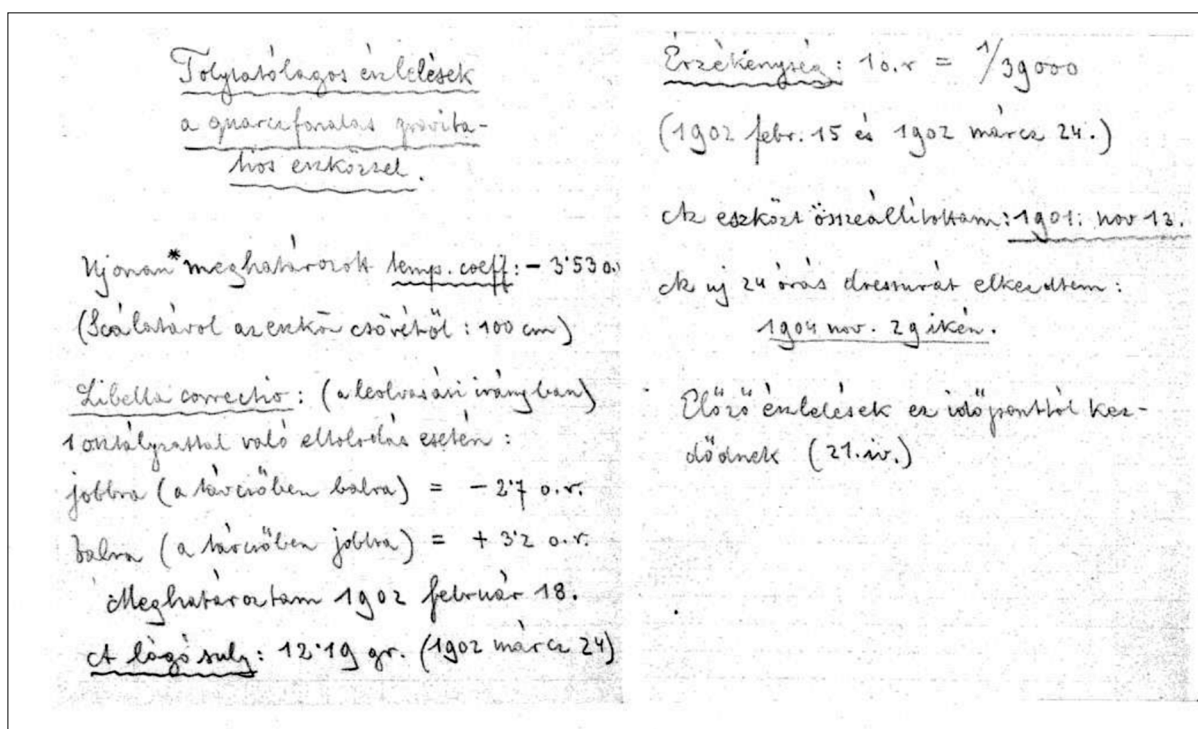
Eötvös gravimétere

Kevesen tudják, hogy maga Eötvös ingáinak kifejlesztésével párhuzamosan graviméter-fejlesztéssel is foglalkozott. Az 1901-ben készült műszer jó állapotban fennmaradt, de ezzel kapcsolatban Eötvös semmit sem publikált. Az egyetlen írásos emlék a Pekár által 1941-ben publikált, alább idézett közlemény, melyben népszerű módon ismerteti a műszer működési elvét:

„Eötvös a torziós drótok mestere, már régen foglalkozott e kérdéssel és ú.n. bifiláris gravimétert szerkesztett. Már az 1890-es években kísérletezett ily fajta műszerekkel, amelyekben hosszú platina drótokat használt. Hogy a külön-külön megcsavart két drót össze ne gomolyodjék, azokra, 5–10 cm-es távolságokban kis fémpálcikákat forrasztott úgy, hogy a kettős drót kötélhágcsóhoz hasonlított. Később 1901-ben egy egész kis kompendiózus eszközt szerkesztett, amelyben két 23 cm hosszú quarcfonálon egy 12 gr-os üres hengeres tömeg lóg. A fonalakat többször megcsavarva, a henger megemelődik és elfordul. A nehézség változásakor a henger súlya s így elfordulási szöge is megváltozik, amit egyrészt a hengerre, másrészt az eszközházra erősített tükrök segítségével olvasunk le. Nagy nehézséget okozott a kellő quarcfonalak készítése, for-

rasztása és azok rugalmas utóhatása. Az eszköznek különböző állomásokon való felállításakor különösen kényes az ugyanolyan vertikális helyzet pontos betartása, ami az eredményeket nagymértékben befolyásolja. Az 5 éven át tartó hosszadalmas kísérleteket professzorom megbízásából én végeztem. A rugalmas utóhatás miatt csakis oly módon nyerhettem használható adatokat, ha az eszközt a célszerűen megválasztott arretált és arretálatlan időközökre betenőriztem. Így módon e műszerrel az Egyetemi Fizikai Intézet és a Svábhegy közötti nehézségváltozást pontosan meghatározhattam. Minthogy e bifiláris graviméter érzékenysége nem egészen kielégítő, Eötvös azt egyáltalán nem publikálta.”

E rövid ismertetésből kiderül, hogy Eötvös már az 1890-es években kísérletezett graviméter szerkesztésével. Fennmaradt a „bifiláris graviméter” érzékelője: a két, 23 cm hosszú, kvarcfonálra függesztett, 12 g súlyú hengeres tömeg. A fonalakat megcsavarva a henger megemelődik és elfordul. A nehézségi erő változásakor a henger súlya, és ezáltal elfordulási szöge is megváltozik. A szögelfordulást a hengerre és a műszerházra erősített tükrökre vetített skála egyidejű távcsöves leolvasása révén határozta meg. Pekár értékelése szerint a graviméter nem egészen



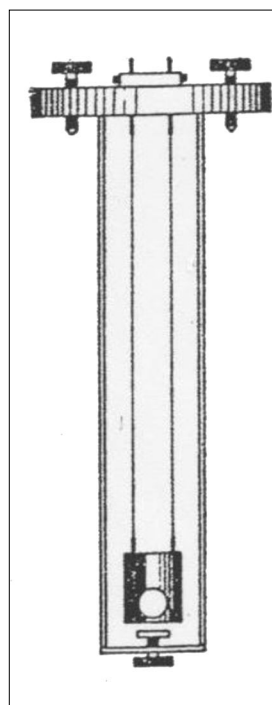
2. ábra Egy oldal Pekár Dezső észlelési naplójából (1902)

Figure 2 One page of D. Pekár's observational records (1902)

kielégítő érzékenysége miatt Eötvös ezt a munkáját publikálásra nem tartotta érdemesnek.

A fenti ismertetés mellett viszont a hagyatékban megtaláltunk egy észlelési naplót, melyben Pekár feljegyezte a

műszerrel végzett észlelések adatait, melyekből kiderül, hogy a műszer 1901. november 13-án került mérésre kész állapotba. A gravimétert egy 0,02 g súlyú tömegnek a hengerre való ráhelyezésével hitelesítették, és ennek alapján a

3. ábra Az Eötvös által tervezett bifiláris graviméter
Figure 3 Draft of Eötvös' bifilar gravimeter4. ábra A megépített kísérleti műszer a laboratóriumban
Figure 4 Laboratory version of the gravimeter5. ábra Terepi mérésre szánt kivitel
Figure 5 The version for field measurements

műszer érzékenysége 30 mGal/osztásrészt kaptak. A műszer hőérzékenységet is megvizsgálták és az 100 mGal/°C értéknek adódott.

A jegyzőkönyv tartalmazza az észlelési adatokat is, melyeket az egyetemi Fizikai Intézet és a Svábhegy közötti mérések során kaptak. A svábhegyi mérések pontos helyszínéről a jegyzőkönyvben sajnos nem történik említés. Szerencsére a két helyszín magasságkülönbsége viszont szerepel a naplóban, így jó közelítéssel meg tudtuk határozni a két mérési pont közötti nehézségi erő különbségét, melynek alapján a műszer érzékenysége 17,7 mGal/osztásrész értéket kaptunk. Ez az érték ellentmond a Pekár által közölt hitelesítési adatnak. A jelentős eltérés a műszer érzékenységeinek nonlinearitásából fakadhat.

Schweydar gravimétere

Hasonló, bár nem teljesen azonos elven működő gravimétert 12 évvel Eötvös után Schweydar német kutató készített, aki a műszerét nem terepi mérésre szánta, hanem a Hold gravitációs hatásának kimutatására. Ennek következtében műszerének mérete három és félszerese volt Eötvösének, és nagyfokú hőérzékenysége miatt graviméterét egy, a föld felszíne alatt 25 m mélyen elhelyezkedő laborban helyezte el. Mivel Eötvös feljegyzései nem maradtak fenn, a műszer elvét Schweydar cikke alapján tudjuk csak ismertetni, aki viszont A. Schmidtre hivatkozik:

„Hogy ezeket a rendkívül kicsiny értékeket megfigyelés útján meghatározzuk, az A. Schmidt által ismertett gravimétert választottam, amely a Trifilárgraviméter elnevezést kapta. A műszer elvét Schmidt részletesen ismertette (1900). Én a műszert bifiláris graviméterként használtam, elméletét Schmidt idézett írására támaszkodva ismertetem.

Egy kb. 140 cm magas és 12 cm átmérőjű üveg hengerben egy P súly kétféleképpen van felfüggesztve. Nagyobb részét egy 0,6 mm vastag acélrugó hordozza, amelyet sok csavarással gondosan megkeményítve (megedzve) állítottak elő. A rugót egy T torziófejjel függesztik fel. A súly kisebb részét két egyenlő hosszúságú szál tartja, amelyek az üveghenger két egymással szemben fekvő A pontjához és a súlyhoz vannak erősítve. A súly egy hígannyal feltöltött üvegcséből áll, amely egy rövid sárgaréz csőbe van függesztve. A cső felett egy könnyű, 6 cm átmérőjű, kör alakú tárcsa van erősítve, amelynek peremén két áttelnes pontjában két B hurokhoz vannak a szálak erősítve. A súly 377 g és a rugót kb. 80 cm-re nyújtja meg. Megcsavaratlan rugó esetén az AB szálak beállnak a függőleges síkba, amely a tárcsa C középpontján megy át. Ha a T torziófej révén a rugót egy α szöggel elcsavarjuk, elcsavarodik a tárcsa a súllyal egy horizontális φ szöggel. Ez annál kisebb α -nál, minél kisebb a D torziós modulus, amely egyenlő az egysegnyi szöggel elcsavart rugó által a felfüggesztett tehernek átadott szöggel. A szálak kicsavarodnak az eredeti függőleges síkból és ferdén állnak egymáshoz képest. Egyensúly áll be a rugó által létrehozott torziós nyomaték $D(\alpha - \varphi)$, és a bifiláris torziós nyomaték X között, amely a súlynak, a szálak által hordozott, kisebb részétől származik.

Legyen az A pont távolsága a műszer tengelyétől a , a B ponté pedig b , az AA' szál felfüggesztés tárcsa fölötti függőleges magassága h , és minden B pontban a szál feszültsége által hordozott súlyrészesedés: $p/2$. A szál feszültségek horizontális komponensei a BA' irányban az X torziós nyomatékre a következő értéket adják:

$$X = P(a/h) \sin \varphi. \quad (1)$$

Elegendő hosszú szálak és lágy rugó alkalmazása esetén p és h – amelyek φ -től függenek – közelítőleg konstansnak tekinthetők. Egyensúlyban

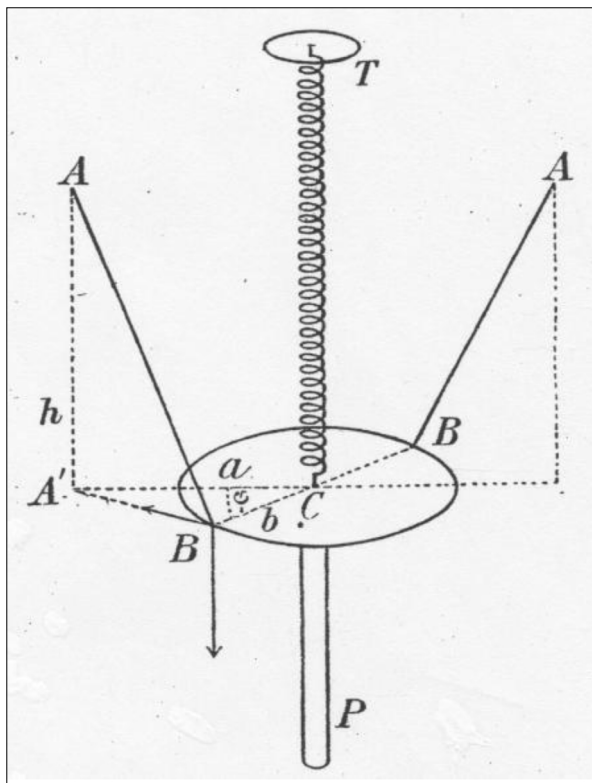
$$D(\alpha - \varphi) = P(ab/h) \sin \varphi. \quad (2)$$

A készülék egy nagyon érdekes jelenséget mutat. φ 90°-nál kisebb értékeire közel stabil egyensúlyi helyzetben van. Ha növeljük φ -t a torziós fej csavarásával, elérünk egy állást, melynél a súly hirtelen 180°-kal átfordul, ezáltal a szálak a drótra rácsavarodnak és elszakadhatnak. A készüléknek ebben az állásban labilis az egyensúlyi helyzete.

A P súly minden változása – amíg a rugó feszültsége csak kis változásoknak van alávetve – úgy nyilvánul meg, mint a súlyarány (p) változása. (2)-ből következik, hogy ez szögkitéréssel kapcsolódik össze. A g nehézségi gyorsulás minden zavara a P súly arányos változását feltételezi, így áll elő egy graviméter. Minden vertikális gyorsulást jelez, ezért szeizmométerként is használható.

(2)-ből következik:

$$d\varphi = \frac{ab \sin \varphi}{Dh + pab \cos \varphi} dp. \quad (3)$$



6. ábra | A bifiláris graviméter elve
Figure 6 | Sketch for explaining the theory of the bifilar gravimeter

Látható, hogy az érzékenység különböző φ értékekre különböző. A fent említett labilis egyensúlyi helyzetben $\cos \varphi = Dh/pab$ lesz. E helyzet közelében a készülék p minden kis változására (és ezzel együtt g -ére is) rendkívül érzékeny. Mivel hogy

$$\frac{dp}{p} = \frac{dg}{g},$$

$$dg = -\frac{g}{P} \frac{Dh + pab \cos \varphi}{ab \sin \varphi} d\varphi. \quad (4)$$

Elteltekintve a labilis egyensúlyi helyzethez szükséges közelítésektől, nagy érzékenység eléréséhez D és p kicsi, P nagy és h nem túl nagy kell hogy legyen a -hoz és b -hez képest. Ez utóbbi feltétel teljesítésénél a (3) és (4) formulában a $dh/d\varphi$ -től függő tag nem hanyagolható el. Másrészt a drót kímélésére való tekintettel h nem lehet túl kicsi a -hoz és b -hez képest.

A készülék beállítását a legnagyobb érzékenységre a növelése által, elővigyázatosan, a torziófej finom mozgásával kell végrehajtani, nehogy a kritikus helyzetet elérjük és a szálak összegabalyodjanak. A készülék érzékenységét úgy ellenőrizhetjük, hogy egy kis súlyt helyezünk a C tárcsára, és megmérjük a szögkitérést.

Fotografikus regisztrálás esetén a P súlyra egy kis tükröt erősítünk.

A készülék rendkívül érzékeny a hőmérséklet változására. Mindaddig nem vált lehetővé a Hold nehézségi erőre mért hatásának mérése, megfelelő érzékenység ellenére: az egyensúlyi helyzet túl nagy ingadozásokat mutatott. Ez azért volt, mert a hőmérséklet változott, és az oldalszálak selyemből voltak. Ezenkívül a forgalom is erősen zavarta a mérést.

Én a szálakat mesterségesen öregített, 0,04 mm vastag platina-iridium drótokkal helyettesítettem, és a készüléket egy 25 m mélyen elhelyezkedő kamrában állítottam fel, amit az obszervatórium 42 m mély kút csöve mellé építettek. Itt a hőmérséklet egész évben csak kb. 0,2°-ot változik. A Hold által okozott periodikus nehézségi erő változás megfigyelése szempontjából nagyobb fontosságú, hogy a napi hőmérséklet ingadozása a megfigyelési térben tökéletesen 0. Ezt vártuk a kútkamrában. Hogy erről meggyőzzem magam, a készülékbe a rugó köré egy Bourdon-csővet építettem be, amelynek mozgását a graviméterével együtt regisztráltuk. Jóllehet a napi hőmérséklet-ingadozás kevesebb volt, mint 0,001°, a Bourdon-cső tükre teljesen egyenes görbét adott.

Továbbá megmutatkozott, hogy a kút közelében alkalomadtán közlekedő teherkocsik okozta rázkódások 25 m mélységben teljesen csillapítva vannak.

A graviméter tükrének mozgását az ismert módon fotografikusan regisztráltuk. A távolság a tükör és a lámpa rése és a regisztráló készülék hengere között 320 cm. Az üveghenger oldalán egy fix tükröt lencsével erősítettünk fel, amely szolgáltatja a hengeren a nem mozgó fénypontot és ezzel a bázisvonalat a mozgó fénypont görbéje ordinátájának méréséhez. A torziót a torziófejen úgy választot-

tuk meg, hogy a P súly növelése esetén a görbe ordinátája növekedjen. Az érzékenység vizsgálatát úgy végeztük, hogy 0,0138 g-ot felraktunk a 376,99 g-ot kitevő P súly tárcsájára. A φ szöget a torziófej beállításával úgy választottuk meg, hogy a készülék a labilis egyensúlyi helyzet közelében legyen. A kis súly felrakásával a fénypont a hengeren kb. 43 mm-t mozdult el. Ennélfogva egy 1 mm-es ordinátaváltozás megfelel $0,84 \times 10^{-6}$ értéknek dp/P , vagy dg/g -ben. Mivel az érzékenység változik a φ szöggel, az az ordináta függvénye; változását a henger szélességére határozzuk meg. 10 mm távolság esetén a bázisvonalától $0,836 \times 10^{-6}$ lesz, ezzel szemben 12 mm esetén $0,920 \times 10^{-6}$ lesz. Ezekkel a konstansokkal meg kell szorozni az ordináta mm-ben mért értékeit. 1914 januárja óta sikerült az érzékenységet megduplázni.

A regisztráló berendezést az óra ingájának meghosszabbításával sikerült úgy beállítani, hogy csak 4 naponként kell kiszolgálni. Ennek megvan az az előnye is, hogy nem kell túl gyakran zavaró hatásnak kitenni a gravimétert. Ha belép valaki a kamrába, olyan hőmérséklet-növekedés áll be, ami több óráig befolyásolja a készüléket.

A megfigyeléseket 1913. január 12-én 0.5 h-kor kezdtük (szerdán, középeurópai idő szerint). A nullpont olyan konstansnak bizonyult, hogy csak kéthónaponként vagy még ritkábban vált szükségessé a korrigálása. A nagyon szabályos, mindig súlynövekedés irányába mutató nullpontmenet arra vezethető vissza, hogy a kamrában lévő igen nagy páratartalmú levegőben a súlyt egy vékony nedvességréteg vonta be. Hogy ezt a jelenséget gyengítsük, a graviméter nyitott üveghengere alá egy edényben kénsvat helyeztünk el, amelyet hat hetente cserélünk kellett.

Tekintettel arra, hogy nagyon kis értékekkel dolgozunk, a légnyomásváltozásokra is figyelemmel kell lennünk, és a graviméter mozgásának óránként leolvasott ordinátaértékeit légüres térre kell redukálnunk. Ebből a célból a Királyi Meteorológiai Obszervatórium barátián rendelkezésemre bocsátotta az óránkénti barográf-leolvasásokat.

A súly által kiszorított levegő 30 cm^3 . Mivel 1 cm^3 levegő kb. 0,001293 g, a légnyomás 10 mm-rel való növekedése 0,00051 g felhajtásnövekedést eredményez. Ez megfelel $1,35 \times 10^{-6}$ csökkenésnek a dp/p -ben és kb. 1 mm ordinátaváltozásnak.

Hogy belépésemkor a kamrába megvédjem a készüléket a hőszugartól, egy sztaniolpapírral beragasztott lelváson dobozt állítottam fel körülötte, amelyet később egy hasonló második doboz vett körül. Ettől kezdve mutatkoztak olyan mozgások a műszerkitérésekben, amelyek – ahogy később rájöttem – a külső légnyomással párhuzamosan, de a felhajtóerővel ellentétesen változtak. Ezek a zavarok valószínűleg visszavezethetők a védődobozok, és ezzel együtt a műszer rugójának adiabatikus felmelegedésére, mivel mindegyikről feltételezhető egy kis hőkapacitás, és a kamra termikusan nagyon jól le volt zárva. Az is lehet, hogy az ok a légnyomásváltozásokban megnyilvánuló légáramlásokban keresendő. A graviméter-

feljegyzésekben gyakran jelentkeznek 8–12 vagy több perces hullámok, amit korábban A. von Schmidt titkos tanácsos úr is megfigyelt egy rövid közleménye szerint. Dr. Martens úr volt olyan szíves, ezeket a zavarokat egy nagyon érzékeny légnyomásmérő regisztrátumával összehasonlítani. Ebből egy tökéletes egyezés adódott az adott időszak légnyomásváltozásaival, éspedig a felhajtóerővel ellentétes értelemben.

Ezeket a zavarokat a műszer légmentes lezárásával lehet kiküszöbölni. Figyelemmel a megnevezett zavarokra le kellett mondanunk arról, hogy az alig egy évet átfogó megfigyelési anyagból az egynapos nehézségi változást levezzük. Ezzel szemben fennmaradt az a kilátás, hogy a fél-napos, M_2 -nek megfelelő tagot megtaláljuk.”

Eötvös graviméterének utóélete

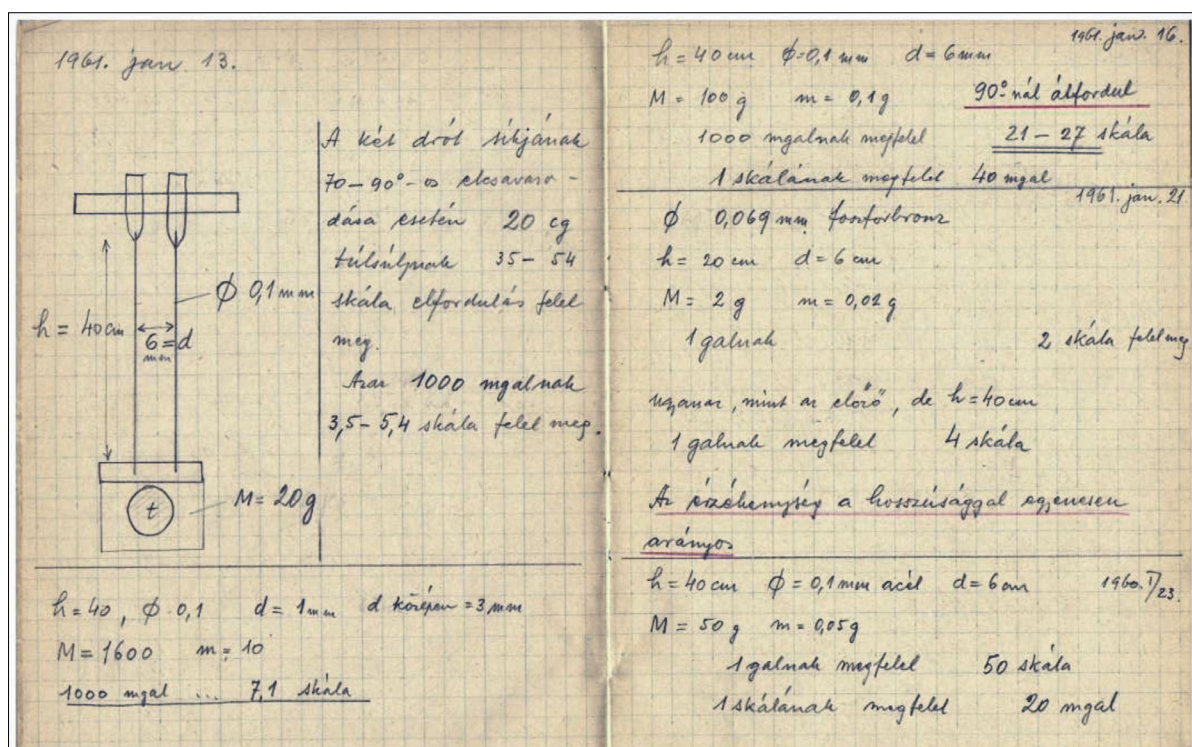
Visszatérve Eötvös graviméterének tudomány- és technikatörténeti értékelésére, érdekes módon a graviméter elkészítését nem a torziós ingákat készítő Süss Nándor-féle tanműhelytől rendelték, hanem Zier Károly aranykoszorús mérlegkészítő mestertől. Az 1901-ben készült műszer jó állapotban maradt fenn, de ezzel kapcsolatban Eötvös semmit sem publikált. Az egyetlen írásos emlék a Pekár Dezső által 1941-ben publikált néhány soros közleménye, melyben népszerű módon ismerteti a műszer működési elvét. E rövid ismertetésből kiderül, hogy Eötvös már az 1890-es években kísérletezett graviméter szerkesztésével. A fennmaradt bifiláris graviméter érzékelője a két, 23 cm hosszú, kvarcfonálra függesztett, 12 g súlyú hengeres tö-

meg. A fonalakat megcsavarva a henger megemelődik és elfordul. A nehézségi erő változásakor a henger súlya és ezáltal elfordulási szöge is megváltozik. A szögelfordulást a hengerre és a műszerházra erősített tükrökre vetített skála egyidejű távcsöves leolvasása révén határozta meg. Pekár szerint a graviméter nem egészen kielégítő érzékenysége miatt Eötvös ezt a munkáját nem tartotta publikálásra érdemesnek.

A fenti ismertetés mellett viszont a hagyatékban megtaláltunk egy észlelési naplót, melyben Pekár feljegyezte a műszerrel végzett észlelések adatait, melyekből kiderül, hogy a műszer 1901. november 13-án került mérésre kész állapotba. A gravimétert egy 0,02 g súlyú tömegnek a hengerre való ráhelyezésével hitelesítették, és ennek alapján a műszer érzékenysége 30 mGal/oszt.részt kaptak. A műszer hőérzékenységét is megvizsgálták, és arra 100 mGal/°C értéket kaptak.

A jegyzőkönyv tartalmazza azokat az észlelési adatokat is, melyeket az egyetemi Fizikai Intézet és a Svábhegy közötti mérések során kaptak. A svábhegyi mérések helyszínéről a jegyzőkönyvben nem történik említés. Szerencsére a két helyszín magasságkülönbsége szerepel a naplóban, így jó közelítéssel meg tudtuk határozni a két mérési pont közötti nehézségi erő különbséget. Az észlelési adatokat felhasználva a műszer érzékenysége 17,7 mGal/oszt.rész értéket kaptunk. Ez az érték ellentmond a Pekár által közölt hitelesítési adatnak. A jelentős eltérés a műszer érzékenységének nonlinearitásából fakadhat.

Összefoglalóul megállapíthatjuk, hogy Eötvös korát megelőzve épített egy kisméretű, terepi mérésre szánt gra-



7. ábra Két oldal Banai Gyula észlelési naplójából (1961)

Figure 7 Two pages from Gy. Banai's observational records (1961)

2. táblázat | Eötvös és Schweydar graviméterének összehasonlítása
Table 2 | Comparison of Eötvös' and Schweydar's gravimeters

	Eötvös-féle (1901)	Schweydar-féle (1913)
Magasság	30 cm	140 cm
Érzékelő tömege	12, 19 g	376,99 g
Hitelesítő tömeg	0,02 g	0,0138 g
Skálatávolság	100 cm	320 cm
Kitérés	53,78 o.r.	43 mm
0,01 g hitelesítő tömegre eső kitérés	26,89 o.r.	31,2 mm
100 cm-es skálatávolságra eső kitérés	26,89 o.r.	9,7 mm
Skálaszorzó	29,94 mGal/o.r.	0,84 mGal/o.r.
100 cm-es skálatávolságra eső skálaszorzó	29,94 mGal/o.r.	2,69 mGal/o.r.
Hőmérsékleti koefficiens	-3,53 o.r./°C	?

vimétert, mely nagyfokú hőérzékenysége és érzékenysége labilitása miatt nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket. Érzékenysége meg sem közelítette torziós ingáiét, így érthető és egyben bölcs döntés volt részéről, hogy néhány évi kísérletezés után felhagyott a további próbálkozásokkal. Az viszont sajnálatos, hogy a bifiláris graviméterrel kapcsolatos eredményeit csalódottsága miatt nem publikálta, ezáltal a nemzetközi tudományos világ hivatalosan nem értesülhetett graviméteréről.

A keleti blokkban a Szovjetunióban foglalkoztak graviméter-fejlesztéssel és -gyártással, de ezek a műszerek nagyon érzékenyek voltak a hőmérséklet-változásokra. Ezért mi csak hőmérőnek becéztük őket. Ekkor merült fel az ötlet, hogy az Eötvös-inga laboratórium munkatársai vegyék elő Eötvös bifiláris graviméterét, hogy megállapítsák, hogy az eötvösi kísérlet óta eltelt közel hatvan év műszaki fejlődése nem tette-e lehetővé graviméterének továbbfejlesztését. A laboratórium munkatársai az alább közölt jegyzőkönyvben számoltak be vizsgálataik eredményéről, melyben megerősítették, Eötvösnek igaza volt, mikor megállapította, hogy bifiláris elven nem lehet használható gravimétert építeni. Ennek következtében neve nem is szerepel a graviméter-fejlesztéssel foglalkozó szakirodalomban.

A dolgozatban ismertetett eszköz az Eötvös Loránd-Emlékgyűjteményben (Bp. XIV. Columbus u. 17–23.) megtekinthető.

A cikk szerzője

Szabó Zoltán

Irodalomjegyzék

- Eötvös L. (1900): A nehézség és a mágneses erő nívófelületeinek és változásainak meghatározásáról. *Mathematikai és Fizikai lapok*, IX. 361–385.
- Hecker O. (1910): Bestimmung der Schwerkraft auf dem Bestimmung der Schwerkraft auf dem Schwarzen Meere und an dessen Küste sowie neue Ausgleichung der Schwerkraftmessungen auf dem Atlantischen, Indischen und Grossen Ozean. *Veröff. d. Zentralb. d. internat. Erdmessung*, 20.
- Pekár D. (1941): Bárány Eötvös Loránd. A torziós inga 50 éves jubileumára. *Kis Akadémia*, Budapest, 340 p.
- Selényi P. (ed.) (1953): Roland Eötvös *Gesammelte Arbeiten*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 385 p.
- Schmidt A. (1900): Gerlands Beiträge zur Geophysik B. 4. p. 109.
- Schweydar W. (1914): A Hold által keltett nehézségi erő intenzitás-változásának megfigyelése. *Sitzungsberichte der Königl. Preussischen Akademie der Wissenschaften*, B. I.