

Eötvös Loránd gravitációs vizsgálatai

RENNER JÁNOS

Eötvös Loránd tudományos alkotásainak középpontjában gravitációs vizsgálatai állnak. E vizsgálatok kezdetét az 1880-as évek közepére tehetjük. Már 1888-ban egy dolgozatot terjesztett az Akadémia elé a gravitáció körében végzett vizsgálatairól s azután gyors egymásutánban jelentek meg hazai és külföldi folyóiratokban gravitációs vizsgálatainak eredményeiről szóló értekezései, köztük 1896-ban „*Vizsgálatok a gravitáció és a mágnesség köréből*” című alapvető fontosságú, igen széles körű tanulmánya. Gravitációs kutatásait, a mágneses vizsgálatokkal párhuzamosan, élete végéig folytatta.

Eötvös a nehézségi erőter kutatásában egészen új úton indult el. Abban az időben már jól kidolgozott eljárások és műszerek voltak a nehézségi gyorsulás abszolút és relatív mérésére és a Föld felületének sok pontján megmérték a nehézségi gyorsulást. Eötvös gondosan tanulmányozta az ismert mérési eredményeket és arra a meggyőződésre jutott, hogy bár az addig használt műszerekkel és eljárásokkal a jövőben is sok értékes adathoz lehet eljutni a Föld nehézségi erőterének megismerésében, kívánatos a további kutatásokat teljesen új szemlélettel végezni. Az új szemlélet abban nyilvánult meg, hogy Eötvös olyan műszert szerkesztett és olyan mérési eljárást dolgozott ki, amelynek segítségével a nehézségi tér változását, mégpedig a nehézségi potenciál második deriváltjait közvetlenül meg lehet mérni a műszernek néhány dm^3 -nyi terében. Erre a célra vette elő a fizikusok kellektárából a kicsi erők mérésére addig is használt *csavarási mérleget*, a *torziós ingát*. Ezt a nagyon hasznos műszert Eötvösnek két irányban kellett tökéletesítenie: egyrészt minden eddiginél érzékenyebbé kellett tennie, másrészt el kellett érnie azt, hogy a mérendő hatáson kívül minden más külső hatástól, főként a hőmérsékletváltozások hatásától a lehetőségig mentesüljön. Hosszú laboratóriumi kísérletekkel sikerült olyan igen vékony felfüggesztő szálakat alkalmaznia, amelyeknek hőmérsékleti és rugalmas utóhatásból eredő járása elenyészően kicsi volt. A külső hőmérsékletváltozásoknak a műszerre kifejtett hatását pedig azzal csökkentette, hogy a lengő rendszert szigetelő levegőrétegekkel elválasztott többszörös falú fémszekrényben függesztette fel.

A nehézségi erőter lineáris változását a potenciálnak hat másodrendű deriváltja jellemzi. Eötvös e deriváltak értékének meghatározására törekedett. Ehhez szükséges volt a torziós inga egyensúlyi helyzetének megfigyelése különböző azimutállásokban. Azzal a műszerrel, amelyben a vízszintes ingarúd a két végén van megterhelve, a nívófelület görbületi viszonyaira jellemző adatokat lehet megmérni, ezért Eötvös ezt a műszertípust *görbületi variométernek* nevezte el. Abból a célból, hogy több információt kapjon a nehézségi erőter változásáról, Eötvös ügyes ötlettel olyan műszertípust alakított ki, amelynél az egyik terhelő tömeg néhány deciméterrel mélyebben függ. Eötvös ezzel a műszerrel, amelyet *horizontális variométernek* nevezett el, a görbületi adatokon kívül a nehézségi térerősség vízszintes gradiensének összetevőit is megmérte. Gyakorlati alkalmazása révén a horizontális variométer vált közismertté és rendszerint ezt nevezik Eötvös-ingának. Csupán a nehézségi térerősség függőleges gradiense nem mérhető az Eötvös-ingával, pedig annak ismerete teljessé tenné a második

deriváltak meghatározását. Tudomásunk szerint Eötvös olyan műszer szerkesztésének gondolatával is foglalkozott, amellyel a nehézségi térerősség függőleges gradiensét közvetlenül meg lehetne mérni; erről azonban nem közölt semmit s ez a probléma mind a mai napig nincs megoldva.

Minden tudományos kutató számára példamutató az a rendszeresség, amellyel Eötvös egész kutatási tervét felépítette és logikus sorrendben végrehajtotta. Első célja az volt, hogy műszere, a torziós inga a laboratóriumban megfeleljen a követelményeknek érzékenység, stabilitás és megbízhatóság tekintetében. Eötvös ezt hamarosan el is érte, de jól tudta, hogy a terepi körülmények lényegesen különböznek a laboratóriumi viszonyoktól s ezért nem sokkal később már a szabadban is végzett méréseket. Először *pestlőrinci kertjében*, majd a *Gellérthegy tövében* mért, azután következett 1891-ben klasszikus mérése az akkor még szabályos kúpalakú bazaltvulkános Sághegy tetején. A terepi méréseknek nem csupán az volt a célja, hogy meggyőződjék a műszer használhatóságáról terepi körülmények között, hanem Eötvös szeme előtt már akkor egy sokkal nagyobb feladat megoldása lebegett: lehet-e és hogyan lehet a felszíni tereppontokban végzett mérésekből az eltakart tömegeloszlásra következtetni. Eötvös abból indult ki, hogy a nehézségi erőtér, amelyet variométerével a terepi pontokon megmér, különböző hatások eredője. Érvényesül a Földnek a földrajzi szélességtől függő normális hatása, a mérési pont közvetlen környezetének térszínhatása, továbbá a távolabbi környezetnek a hatása és az eltakart földalatti tömegeloszlás hatása. Eötvös az egyes hatások mérésével és számításával megállapította és az utójára említett ún. szubterrán rendellenességeket maradék módszerrel határozta meg. A térszínhatás kiszámítása céljából a mérési pont közvetlen környezetét színtezte, a távolabbi terület domborzatának hatását szintvonalas térkép segítségével számította ki. Olyan körülmények között is végzett méréseket, ahol nem volt szükség térszínhatás számítására: 1901 és 1903 telén a *Balaton sima jégén* folytak torziós inga mérések. Később kiváló tanulmányi terület volt *Arad környéke*, amelyet több éven át részletes mérésekkel vizsgált meg. A mérések feldolgozása ezen a területen kétféle szempontból történt. Eötvös a vízszintes gradiensek szubterrán rendellenességeiből meghatározta a nehézségi térerősség szubterrán rendellenességeit és azokat izogamma vonalakkal ábrázolta. A gradiensvektorok és az izogammák alkalmasak az eltakart tömegeloszlás jellemzésére. Másfelől Eötvös a görbületi adatokból *függővonalelhajlásokat* számított, felhasználva néhány asztrogeodéziai pont adatait. A függővonalelhajlásokból megszerkesztette az egyenlő potenciálú vonalakat s ezzel a nívófelület egy darabját jellemezte. Ez utóbbi számításokban az ún. topografikus rendellenességekből indult ki, tehát a torziós ingával mért görbületi adatokat a térképi hatással nem javította. Ez a geodéziai alkalmazás nagymértékben felkeltette a geodéta szakemberek érdeklődését.

Eötvös gravitációs kutatásaiban nevezetes fordulópontra volt az 1906. év. Ebben az évben szeptember havában az Internationale Erdmessung XIV. általános értekezletét Budapesten tartotta. Neves külföldi szakemberek gyűltek össze és az egyik ülésen Eötvös ismertette kutatásainak eredményeit és torziós ingáját. A kiváló szakemberek a legnagyobb elismeréssel és csodálattal nyilatkoztak Eötvös gravitációs kutatásairól. A konferencia kérésére az akkori magyar kormány 1907-től kezdve jelentékeny anyagi támogatásban részesítette az Eötvös irányításával folyó geofizikai kutatásokat. Ez tette lehetővé a terepi munkálatok nagyobb mértékű megszervezését és egyúttal újabb műszerek megszerkesztését és elkészítését. Ezután egyre inkább előtérbe került az Eötvös-

ingával végzett mérések eredményeinek földtani értelmezése és annak alapján a gyakorlati alkalmazás lehetősége. Még Eötvös életében, 1916-ban történt torziós inga mérés a *Mórvamezőn Egbell (Gbely) környékén*, ahol a méréssel megállapított gravitációs maximumot az eltakart szénhidrogéntároló rétegek boltozódása okozza. A maximum helyén termelő kőolajmező alakult ki, s így első esetben igazolódott, hogy az Eötvös-inga mérés felhasználható hasznos ásványi anyagok kutatásában. Ebben nagy része van *Böckh Hugónak*, a kiváló geológusnak is, aki Eötvös figyelmét a mérések gyakorlati alkalmazására irányította. Az eltakart tömegeloszlás kutatása Eötvösnek régi szándéka és eredeti célkitűzése volt, s ilyen értelemben Eötvös az alkalmazott geofizika megalkotójának tekinthető, bár már előtte is voltak külföldön próbálkozások vasérckutatásra mágneses mérésekkel.

Eötvös gravitációs vizsgálatai nem merültek ki a torziós inga módszerének kidolgozásában és alkalmazásában. Meggyőződése volt, hogy érzékeny műszerével jelentős elvi tudományos kérdések megoldásához is hozzáfoghat. Az egyik ilyen igen fontos feladat a *tömegvonzás állandójának* pontos megmérése volt. Ezt a mérést Eötvös elvégezte a hagyományos sztatikus módon, de azután egészen eredeti elgondolással dinamikus mérési eljárást dolgozott ki. Ennek az eljárásnak az a lényege, hogy egy érzékeny görbületi variométer lengésidejét két különböző gravitációs térben figyelte, és mivel a lengésidő a mindenkori gravitációs tértől függ, a két lengésidő eltéréseiből ki tudta számítani a tömegvonzás állandóját. Eötvös ezt a kísérletet igen érdekes módon állította össze. Ólomtéglákból két falat épített egymással párhuzamosan és a variométert e falak között helyezte el kétféle állásban: az egyikben az ingarúd az ólomfalakkal párhuzamos volt, a másikban arra merőleges. Eötvös mérései szerint a tömegvonzás állandója $6,65 \cdot 10^{-8}$ CGS. Ennek a dinamikus eljárásnak az az előnye a sztatikushoz viszonyítva, hogy független a felfüggesztő szál torziónyomatékától. Az Eötvös-féle dinamikus eljárást 1930-ban módosított kivitelben az amerikai *Heyl* alkalmazta a tömegvonzás állandójának mérésére.

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszékén néhány év óta újabb kísérletek folynak dinamikus módszerrel a pontosság növelése érdekében. A torziós inga e kísérletekben változatlan állásban marad, körülötte pedig két egymással szemben levő, hígannyal megtöltött vastartály forgatással a torziós ingához képest különböző helyzetbe hozható, tehát az inga lengésideje különböző gravitációs terekben mérhető.

Eötvös egy másik igen fontos kísérleti sorozatot indított meg már az 1880-as években annak a kérdésnek tüzetes megvizsgálására, hogy a *tömegvonzás függ-e az anyagi minőségtől*, vagyis azonos-e a tehetetlen és a vonzó tömeg. Erre vonatkozó első kísérleteiről már 1889-ben beszámolt az Akadémiának. Később a kísérleti eljárás tökéletesítésével fokozta a mérés pontosságát. A hosszú időn át végzett mérések eredményeit az észlelésekben is résztvevő munkatársaival, Pekár Dezsővel és Fekete Jenővel együtt kiemelkedő jelentőségű értekezésben dolgozta fel és e munkaközösség ezzel a munkával 1909-ben a göttingeni egyetem Benecke-pályadíját nyerte el. E kísérleti vizsgálat azon alapult, hogy a nehézségi erő a Föld vonzásának és a centrifugális erőnek eredője. Mivel pedig a centrifugális erő, mint tehetetlenségi erő független az anyagi minőségtől, ha lenne különbség abban a vonzásban, amelyet a Föld a különböző minőségű anyagokra kifejt, az eredő nehézségi erő irányának a különböző anyagokra nézve eltérőnek kellene lennie. Eötvös kettős torziós ingájával úgy végezte a kísérletét, hogy az ingarudak végeire az összehasonlításra kiszemelt

különböző anyagi minőségű tömegeket függesztette fel és az egyensúlyi helyzeteket a négy világtájnak megfelelő azimutállásokban észlelte, majd a különböző minőségű tömegeket egymással felcserélte és a kísérleti sorozatot megismételte. Ha volna különbség a különböző minőségű anyagok vonzásában, akkor annak a két kísérleti sorozat adataiban mutatkoznia kellene. Eötvös mérései szerint ha volna eltérés, annak $1/200\,000\,000$ -nál kisebbnek kellene lennie. Az 1930-as évek elején e sorok írója hasonló kísérleteket végzett és a mérés pontosságát egy nagyságrenddel megnövelte. Újabb korszerű berendezéssel végzett külföldi vizsgálatok a pontosságot 10^{-11} -ig fokozták.

Eötvös tudományos alkotásai között az utolsó és elvi tekintetben igen jelentős a *Földön mozgó testek nehézségének változására vonatkozó* vizsgálata. Eötvös nagy figyelemmel tanulmányozta O. Heckernek az 1901–1905. években az Indiai- és a Csendes-óceánon mozgó hajón végzett nehézségi méréseit és észrevette, hogy a mérési eredmények feldolgozásában figyelmen kívül maradt a hajó mozgásának hatása. Ugyanis a Földhöz képest keleti irányban mozgó testre a centrifugális erő nagyobb, mint a nyugvó testre, ennél fogva az eredő nehézségi erő kisebb. Miután Eötvös erre a hatásra Heckernek figyelmét felhívta, megtörtént az óceáni mérések eredményeinek átszámítása és ezzel bizonyos ellentmondások megszűntek. Sőt ellenőrző kísérlet is történt. Az orosz kormány 1909-ben két hajót bocsátott Hecker rendelkezésére. E hajók egyike a Fekete-tengeren nyugatról kelet felé haladt, a másik ellenkező irányban és a két hajón egyidejűleg történtek nehézségi mérések. Ezek eredménye teljes mértékben igazolta Eötvös elgondolását. Ezt a hatást az irodalomban *Eötvös-effektusnak* nevezik. A hatás a nehézségi gyorsulásban arányos a mozgó test $K-Ny$ irányban mért viszonylagos sebességével a Földhöz képest és a földrajzi szélesség cosinusával. Eötvös egy függőleges tengely körül forgó mérleget is szerkesztett, amelynek segítségével laboratóriumban, sőt előadóteremben nagyszámú hallgatóságnak is bemutatta a jelenséget. Az Eötvös-effektus egyúttal a Föld forgásának is bizonyítéka és egyenlő értékű a Foucault-féle ingakísérlettel. Az Eötvös-effektusnak nemcsak elvi tudományos jelentősége van, hanem jelenleg a mozgó testeken, hajón vagy repülőgépen végzett nehézségi méréseknél számításba veszik, mert a mérések elért pontossága mellett a hatás nem elhanyagolható.

Végül Eötvös gravitációs kutatásai között meg kell emlékezni *bifiláris graviméteréről*. Ezt a műszert 1901-ben szerkesztette és ezzel megelőzte a különböző típusú graviméterek szerkesztőit. Eötvös graviméterének lényege két vékony kvarcszálon felfüggesztett kis tömeg, melynek tartójához kis tükör van erősítve és a műszerházon is van egy álló tükör. A felfüggesztő szálak megcsavarásával a tömeg kissé megemelkedik és elfordul. Távcső segítségével a mozgó tükörnek mindenkori helyzetét az álló tükörhöz viszonyítva meg lehet állapítani. Ha a műszer olyan helyre kerül, ahol más a nehézségi gyorsulás, akkor a felfüggesztett tömeg más egyensúlyi helyzetet vesz fel és az eltérés a tükrök segítségével meghatározható. Eötvös e graviméterrel sok kísérletet végzett a laboratóriumban, majd megmérte a nehézségi gyorsulás változását az egyetemi fizikai intézet és a Szabadsághegy között. A mérés pontossága kicsi volt, messze elmaradt a későbbi korszerű graviméterek pontosságától, de Eötvös ebben a kísérletében meglátta a jövő feljődés útját. Tudatában volt annak, hogy bármilyen értékes és hasznos a nehézségi erőter kicsi változásait mérő variométere, nagyobb területek nehézségi változásainak átfogó megismeréséhez nélkülözhetetlenek olyan műszerek, mint a relatív inga és az azt helyettesítő,

gyorsan működő graviméter. Torziós ingájának továbbfejlesztése azonban annyira lekötötte alkotó tevékenységét, hogy graviméterével később már nem foglalkozott.

Eötvös annyira mestere volt a gravitáció kutatásának, hogy laboratóriumi vizsgálatok céljára egészen csodálatos érzékenyséű műszereket is szerkesztett. Ilyen a *gravitációs kompenzátor*, amelynél az érzékenység fokozására magát a tömegvonzást használta fel. Hasonló nagyon érzékeny műszere a *gravitációs multiplikátor*, amelynél a rezonancia elvét használta fel a lengő rendszer kitérésének növelésére.

Összefoglalva: Eötvösnek a gravitáció terén végzett alkotó tevékenysége nagyon széleskörű, igen jelentős tudományos eredményeket foglal magában és további kutatásokra ösztönöz. Fél évszázad után hazánkban és külföldön szép számmal vannak kutatók, akik nyomdokain elindulva igyekeznek Eötvös alkotásait továbbfejleszteni.

Emlékét őrzi egyebek között a nemzetközi tudományos világban elismert „*Eötvös-egység*”, a nehézségi potenciál második deriváltjai *CGS* egységének 10^{-9} -szerese.

MAGYAR GEOFIZIKA X. ÉVF. 5. SZ.

Eötvös Loránd földmágnességi vizsgálatai

H A Á Z I S T V Á N

Eötvös Loránd a földi gravitáció vagy földi nehézség térbeli változásai mellett úgyszólván kezdettől fogva a *földmágnesség* térbeli változásait is vizsgálat tárgyává tette.

Már 1896-ban, a gravitáció és mágnesség körében végzett vizsgálatairól az Akadémia elé terjesztett jelentésében megmutatta, hogy a földmágneses térerősség térbeli változásait, *térbeli inhomogenitásait* jellemző *gradiensek* alkalmas érzékenyséű műszerrel éppen úgy mérhetőkké tehetők, amint az neki a földi nehézségre vonatkozóan sikerült.

Ismeretes, hogy a térben változó, azaz *inhomogén mágneses térben* a mágnestű nemcsak a közismert irányító, azaz forgató hatást szenved, hanem haladtató, azaz *transzlációs erőhatást* is szenved, vagyis ilyen mágneses tér a mágnestűt nemcsak elforgatni, hanem párhuzamosan eltolni is törekszik.

Ezért a földmágneses tér térbeli változásait, térbeli inhomogenitásait jellemző *gradiensek* mérése és az inhomogén mágneses térben jelentkező *transzlációs erőhatás* megmérése egymással összefüggő feladatokat jelentenek.

Az inhomogén földmágneses térben jelentkező transzlációs erőhatás mérésére tehát olyan *érzékeny mérőeszköz* szükséges, amely a földmágneses tér inhomogenitását a néhány *cm*-nyi mérőmágnés által elfoglalt térben is megérzi.

Eötvös e transzlációs erőhatás vízszintes összetevőinek mérésére szintén a torziós mérleg elvére alapított eszközt szerkesztett, amelyet *mágneses transzlátóméternek* nevezett el. Az eszköz külső alakjában a nehézség horizontális variométeréhez, mai nevén az Eötvös-ingához hasonlít, a lefelé nyúló csőben azonban nem platina-tömeg, hanem acélmágnés függ és az eszköz nem a mérlegrudat felfüggesztő szál körül, hanem a mágnest felfüggesztő szál körül forgat-